

Beslissingssystemen voor crossdocking met tijdsvensters

Bart BAMPS

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze eindverhandeling, voorgedragen tot het behalen van de graad van Handelsingenieur, optie Operationeel Management en Logistiek, vormt het sluitstuk van mijn opleiding aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp 'beslissingssystemen voor cross-docking met tijdsvensters', ligt in de lijn van mijn afstudeerrichting en de opgebouwde kennis en ervaring zullen mij gedurende mijn toekomstige loopbaan ongetwijfeld van waarde zijn.

Voor over te gaan tot de kern van deze eindverhandeling, zou ik graag nog enkele woorden van dank richten tot de personen die me hebben bijgestaan in het schrijven ervan. In de eerste plaats richt ik een woord van dank tot mijn promotor, namelijk prof. dr. G. Janssens, die mij heeft bijgestaan met goede raad en opbouwende kritiek tijdens de totstandkoming van mijn eindverhandeling. Daarnaast wens ik Dhr. J. Ghijselinck, manager bij Groep H. Essers, te bedanken voor zijn medewerking aan de gevalstudie.

Samenvatting

Door de steeds kleiner wordende winstmarges in het bedrijfsleven en de sterke concurrentietoename is kostenbeheersing tegenwoordig het leidende principe in vele organisaties. Daarom wordt getracht om activiteiten die geen waarde toevoegen te elimineren. Op het vlak van voorraadbeleid kan daarvoor gebruik gemaakt worden van cross-docking. De idee hierbij is een directe transfer van de goederen van inkomende naar uitgaande trailers zonder tussenliggende opslag. Daardoor verblijven de goederen normaal minder dan vierentwintig uur in de cross-dock, soms zelfs minder dan één uur. Dit is het grote verschil met de traditionele distributiewijze waarbij steeds voorraden opgeslagen zijn in magazijnen.

De uitgevoerde studie kan opgedeeld worden in vier grote onderdelen. In een eerste deel worden de diverse kenmerken van cross-docking besproken. Aan de hand van een literatuurstudie werd zo een beeld gevormd van cross-docking. Zo worden de verschillende types van cross-docking en de werkwijze besproken. Daarnaast is onderzocht welke voor- en nadelen aan cross-docking verbonden zijn en welke overwegingen genomen moeten worden voordat ermee begonnen kan worden. Uiteindelijk worden ook de hinderpalen besproken waardoor cross-docking niet altijd toegepast wordt en zijn de verwachtingen voor de toekomst kort toegelicht.

In het tweede deel werd een tweede literatuurstudie uitgevoerd. Ditmaal werd gezocht naar de diverse beslissingssystemen die reeds ontworpen zijn om cross-docking te ondersteunen. Het eerste besproken beslissingssysteem onderzoekt of de overschakeling op cross-docking wel de nodige voordelen zal bieden ten opzichte van de traditionele opslag in een magazijn. Vervolgens is het logisch om, eenmaal de keuze voor cross-docking gemaakt is, de processen zo optimaal mogelijk te doen verlopen. Daarom wordt een model voorgesteld dat het gehele proces van het ophalen van de vracht tot de uiteindelijke levering optimaliseert. Omdat dit model veel berekeningstijd vraagt bij de uitvoering, worden de drie grote optimalisatieproblemen nadien apart behandeld. Een gevolg hiervan is dat niet altijd de meest optimale oplossing voor het gehele systeem bekomen wordt, maar deze enkel benaderd kan worden.

Het eerste optimalisatieprobleem handelt over de minimalisatie van de transport- en opslagkosten. In sommige gevallen zal gewerkt worden met een netwerk van cross-dock

centra. In dat geval zal vastgelegd moeten worden welke centra gebruikt gaan worden voor de transporten. Daarnaast zal ook bepaald moeten worden hoeveel vrachtwagens het transport zullen verzorgen en welke routes hiervoor gebruikt gaan worden.

Hiervoor worden een aantal optimalisatiemodellen aangehaald. De eerste zes modellen dienen om te bepalen welke cross-dock centra best gebruikt kunnen worden voor de transporten. De modellen verschillen onderling in de gebruikte strategie en de vereenvoudigingen die toegepast worden. Zo worden modellen besproken waarbij gewerkt wordt volgens een vast, flexibel of een lading gedreven systeem. Daarnaast wordt soms gebruik gemaakt van de verwachte vraag, waardoor kleine voorraden kunnen ontstaan, en andere gaan enkel van de werkelijke vraag uit. Vervolgens wordt ook een optimalisatiemodel voor de routeplanning besproken. Het doel van dit model is het bepalen van het aantal voertuigen, de beste route voor het transport van de goederen en de aankomsttijd van elk voertuig bij de cross-dock om zo de transportkosten te minimaliseren binnen een bepaalde planningshorizon.

Het tweede grote optimalisatieprobleem handelt over de interne planning. Zo is materiaalbehandeling een grote zorg bij voorraadbeslissingen vermits het hoofdzakelijk een extra kosten genererende activiteit is. Daarom zal onder meer de planning ervoor moeten zorgen dat de behandelingskosten gaan dalen en het gebruik van de beschikbare ruimte geoptimaliseerd wordt. Zo zijn een goede planning van de beschikbare arbeidskrachten en de aankomst- en vertrektijden van de transporten van groot belang. Daarom wordt eerst een model besproken dat de planning van de teams binnen het cross-dock centrum behandelt. Vervolgens wordt ook een model voor de synchronisatie van de transporten aangehaald.

Het derde en laatste grote optimalisatieprobleem is de toewijzing van de vrachtwagens aan de poorten. Bij grote cross-dock terminals is de toewijzing van de vrachtwagens aan de poorten een sleutelactiviteit. De terminals bevatten soms 10 tot 200 of zelfs meer poorten. Om alles dan vlot te doen verlopen, moeten de vrachtwagens een bepaalde tijdsperiode aan een specifieke poort toegewezen krijgen. Gedurende deze tijdsperiode worden de vrachtwagens uit- of ingeladen. Een goede toewijzing van de poorten is vereist om zo vertragingen te verhinderen en een betere prestatie van het transportnetwerk te verkrijgen. Daarom worden drie modellen voorgesteld die de reisafstand trachten te minimaliseren en het proces ook vlotter doen verlopen. Het

eerste model tracht de optimale lay-out van de cross-dock te bepalen. Daarnaast is de planning moeilijk geworden vanwege de grote hoeveelheden vracht die vervoerd worden en de dynamische kenmerken van het probleem. Daarom wordt een tweede model bekeken dat gebruikt wordt voor de robuuste toewijzing van de vrachtwagens aan poorten. Het derde model wijst de poorten dan weer toe op basis van de minimalisatie van de gewogen afstand afgelegd door de goederen in de cross-dock.

In het derde deel van dit werk, wordt één van de bovenstaande modellen uitgewerkt in LINGO. Het gebruikte model vertrekt vanuit een netwerk bestaande uit meerdere cross-dock centra. Bij de organisatie van de transporten wordt dan een keuze uit deze centra gemaakt voor de toelevering. Hiervoor wordt in het model rekening gehouden met de transportkosten, de tijdsvensters, de capaciteit van de cross-dock centra en de behandelingskosten. Het doel is uiteindelijk een minimale kosten distributieplan te verkrijgen door het minimaliseren van de transport- en voorraadkosten. Via het model wordt dan de keuze van cross-dock en de lever- of afhaaltijden verkregen.

In het laatste onderdeel wordt de gevalstudie van Essers Transport Genk beschreven. Hiervoor is een interview gebeurd met één van de medewerkers bij Essers Transport. Het doel van deze gevalstudie was een beter inzicht te krijgen op de praktische uitvoering van cross-docking. Hierbij kon dan ook onmiddellijk de theorie aan de praktijk getoetst worden.

Uiteindelijk blijkt cross-docking al enkele opmerkelijke successen geboekt te hebben. Het wordt immers aangegeven als één van de redenen waardoor Wal-Mart de grootste kleinhandelaar ter wereld is kunnen worden. Daarnaast zal het gebruik ervan in de toekomst ook sterk gaan stijgen. Zo verwacht 79% van de verladers en 84% van de logistieke dienstverleners dat de cross-dock activiteiten de komende drie jaar zullen worden uitgebreid. Dit wijst erop dat verder onderzoek naar cross-docking noodzakelijk is. Dit kan zich dan toespitsen op de ontwikkeling van betere en vooral snellere optimalisatiemodellen. De uitvoering van de huidige modellen vereist immers vaak een te lange berekeningstijd of veroorzaakt een daling van de nauwkeurigheid.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

Blz.

Samenvatting

HOOFDSTUK I: PROBLEEMSTELLING	1
A. PRAKTIJKPROBLEEM	1
B. CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG	2
C. DEELVRAGEN	2
D. ONDERZOEKSOPZET	3
HOOFDSTUK II: KENMERKEN VAN CROSS-DOCKING	4
A. INLEIDING	4
B. TYPES CROSS-DOCKING	6
C. WERKWIJZE	12
D. VOORDELEN	14
E. NADELEN	17
F. DE BESLISSING MAKEN OM TOT CROSS-DOCKING OVER TE GAAN	20
G. VOORWAARDEN VOOR DE IMPLEMENTATIE VAN CROSS-DOCKING	22
H. BARRIÈRES	30
I. TOEKOMST	32
HOOFDSTUK III: BESPREKING VAN BESLISSINGSSYSTEMEN	33
A. MINIMALISATIE VAN DE TRANSPORT- EN OPSLAGKOSTEN	40
B. INTERNE PLANNING	53
C. TOEWIJZEN VRACHTWAGENS AAN POORTEN	57
HOOFDSTUK IV: UITGEWERKT MODEL	67
HOOFDSTUK V: GEVALSSTUDIE ESSERS TRANSPORT GENK	72
HOOFDSTUK VI: CONCLUSIE	78
LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN	80
LIJST VAN FIGUREN	84

LIJST VAN TABELLEN

84

BIJLAGEN

85

Bijlage 1: Branch-and-bound

Bijlage 2: Simulated annealing

Bijlage 3: Tabu search

Bijlage 4: Polynomiale tijd

Bijlage 5: Genetische algoritmen

Bijlage 6: Squeaky Wheel Optimization

Bijlage 7: Input voor het originele model

Bijlage 8: Input en output van het vereenvoudigde model

Bijlage 9: Gegevens Essers Transport Genk

Hoofdstuk I: Probleemstelling

A. Praktijkprobleem

Vanwege de sterke concurrentiestrijd binnen veel sectoren, is het voor ondernemingen noodzakelijk om tegen zo laag mogelijke kosten te werken. Daarom worden activiteiten die geen waarde toevoegen zo goed mogelijk gereduceerd. Dit betekent dat ook de aanwezige voorraden in het systeem moeten dalen. Om dit te kunnen realiseren heeft een groot aantal bedrijven de overstap gemaakt van het traditionele voorraadbeheer naar een "Just-in-Time" (JIT) omgeving, waarbij de eliminatie van alle voorraden een belangrijk streefdoel is. In een ideale JIT omgeving zouden dan ook alle onderdelen geleverd moeten worden op het exacte ogenblik dat ze nodig zijn en in de exacte hoeveelheid. Hiervoor is dan ook een effectief management in de gehele toeleveringsketen noodzakelijk.

Een belangrijk onderdeel in de toeleveringsketens zijn de gebruikte distributiesystemen. Het management van deze distributiesystemen is onder meer in belang toegenomen door de vooruitgang in informatietechnologie. Dit heeft de sterke vooruitgang in het informatiedelen tussen de betrokken partijen in de toeleveringsketen mogelijk gemaakt. Hierdoor zijn dan ook efficiëntere transport - en voorraadbeheersystemen opgekomen.

Één van deze nieuwe voorraadbeheersystemen is het zogenaamde cross-docking systeem, waarnaar ook wel verwezen wordt als "JIT in de distributie". Cross-docking probeert pakhuisen immers tot zuiver transshipment centra te reduceren, waar het ontvangen en het verschepen van goederen de enige functies zijn. De idee is het direct transfereren van de goederen van inkomende naar uitgaande trailers zonder tussenliggende opslag. Vaak is de klant dan ook gekend voor de producten het magazijn bereiken. Typisch verblijven de goederen minder dan vierentwintig uur in de cross-dock, soms zelfs minder dan een uur.

Een goede planning is dan ook belangrijk om het gehele cross-docking proces succesvol te laten verlopen. Bovendien werken de klanten vaak met tijdsvensters waarbinnen de goederen geleverd moeten worden. Dit heeft tot gevolg dat bij een te vroege levering gewacht moet worden tot het beoogde tijdstip aangebroken is. Bij een te late levering zal echter gewacht moeten worden tot een nieuwe opening in de planning verschijnt en

vaak heeft dit ook nog boetes vanwege de klant tot gevolg. Bovendien loopt hierdoor ook het vertrouwen van de klant in u als leverancier schade op. De kwaliteit van de planning kan dan ook belangrijke financiële implicaties hebben voor de onderneming.

Daarnaast zijn de doelstellingen voor materialenbehandeling vaak gefocust op kosten, deze zullen dus zoveel mogelijk gedrukt worden terwijl het ruimtegebruik verhoogd moet worden. De behandeling van materialen kan door goed ladingsgebruik, ruimtelayout en materiaalkeuzen worden verbeterd. Typisch nemen de opslag en het orderpikken het grootste deel van behandelende activiteit in een magazijn in. Deze verrichtingen omvatten onder meer voorraadregeling en productrangschikking hetgeen allemaal arbeidsintensief en duur is.

B. Centrale onderzoeksvraag

Om cross-docking succesvol te kunnen toepassen moeten alle processen optimaal verlopen. In deze eindverhandeling zal dan ook aan de hand van een literatuurstudie een overzicht gegeven worden van het onderzoek dat reeds gebeurd is naar de optimalisatie van het cross-docking proces.

De centrale onderzoeksvraag in dit werk is dan ook: " Wat zijn de bestaande beslissingssystemen voor cross-docking met tijdsvensters?"

Deze beslissingssystemen hebben onder meer betrekking op de interne werking van de cross-dock, de situering van de cross-dock centra en het routeprobleem.

C. Deelvragen

Om een duidelijk beeld te krijgen van cross-docking, zal ook een antwoord op volgende deelvragen gezocht worden:

- Hoe wordt cross-docking toegepast en wat zijn de kenmerken?
- Wat zijn de voor- en nadelen die aan cross-docking verbonden zijn?
- Wat zijn de belangrijkste problemen die ondervonden worden?
- Welke factoren verhinderen de toepassing van cross-docking?

D. Onderzoeksopzet

Om een gegrond antwoord te kunnen formuleren op bovenstaande centrale onderzoeksvraag en de bijhorende deelvragen, zullen verschillende stappen ondernomen worden in het onderzoeksproces.

De onderzoeksopzet is daarom in drie grote onderdelen opgedeeld: een literatuurstudie, modellering en een gevalstudie. De literatuurstudie zelf is ook weer opgedeeld in twee onderdelen. In het eerste deel probeer ik een theoretische achtergrond te schetsen met betrekking tot cross-docking. Hierin worden dan ook de deelvragen van het onderzoek beantwoord. Hiervoor zal gebruik gemaakt worden van wetenschappelijke literatuur en tijdschriften die gerelateerd zijn aan het onderwerp. Van deze laatste wordt gebruik gemaakt omdat deze vaak dichter bij de praktische werking staan.

Nadien wordt een tweede literatuurstudie uitgevoerd om te bepalen welke modellen reeds ontworpen zijn om cross-docking te optimaliseren en hoe deze in praktijk presteren. Hierbij wordt uitsluitend gebruik gemaakt van wetenschappelijke literatuur.

In het tweede onderdeel van dit onderzoek wordt dan één van de besproken modellen verder uitgewerkt in Lingo. Hierop kunnen dan enkele testen uitgevoerd worden. Uiteindelijk wordt ook een gevalstudie uitgevoerd. Deze heeft tot doel om de theorie met de praktijk te vergelijken en bepaalde aspecten extra toe te lichten. Deze gevalstudie is uiteindelijk tot stand gekomen aan de hand van gesprekken met bevoorrechte getuigen en een rondleiding in de cross-dock van Essers Transport in Genk.

Hoofdstuk II: Kenmerken van cross-docking

A. Inleiding

Volgens Gue (2001) vervullen de traditionele magazijnen vier grote functies. Dit zijn het ontvangen, opslaan, orderpikken en versturen van goederen. Hiervan zijn het opslaan en orderpikken de meest typische maar ook meest kosten verwekkende activiteiten. De hoge kosten bij het orderpikken worden veroorzaakt door het feit dat het nog steeds een erg arbeidsintensief proces is. De kosten verbonden aan de opslag van voorraden kunnen dan weer opgedeeld worden in de drie R's:

- Ruimte: de voorraad ligt opgeslagen in een distributiecentrum waaraan uiteraard kosten verbonden zijn, zoals verwarming en onderhoud.
- Risico: opgeslagen goederen kunnen verouderd of uit de mode raken, beschadigd worden door een brand, enz.
- Rente: in de opgeslagen voorraden zit kapitaal vast. Dat kapitaal kan niet meer worden gebruikt voor andere doeleinden waardoor hierop onder meer de rente gemist wordt.

Deze kosten benadrukken het belang om de voorraden en de doorlooptijd van de producten zo laag mogelijk te houden of deze zelfs volledig te vermijden. Daarom blijkt cross-docking ook interessant voor een aantal bedrijven. Het grote voordeel van cross-docking is namelijk dat de opslag en het orderpikken in het magazijn worden geëlimineerd, terwijl de ontvangst- en verzendfuncties blijven bestaan. Schaffer (2000) sluit hierbij aan en merkt hierover op: "The best way to reduce costs and improve efficiency is to eliminate a function, not just improve it."

Cross-docking heeft tot doel de goederen direct over te brengen van inkomende naar uitgaande trailers zonder tussenliggende opslag. De goederen zullen dan normaal ook minder dan vierentwintig uur in de cross-dock verblijven, soms zelfs minder dan een uur. Dit is dan ook het grote verschil met de traditionele opslagwijze waarbij de voorraden opgeslagen worden in magazijnen tot klanten een bestelling doen.

Bij cross-docking is de klant reeds gekend voordat het product bij het magazijn komt en is de opslag van de goederen overbodig. Cross-dock centra zijn in essentie dus een transferfaciliteit waar vrachtwagens met goederen aankomen die gesorteerd moeten

worden, geconsolideerd met andere producten en op uitgaande vrachtwagens geladen worden. Deze uitgaande transporten gaan mogelijk naar een productiesite, winkel of een andere cross-dock, afhankelijk van de toepassing. Bedrijven kunnen dan ook hun voorraadkosten en transportkosten gelijktijdig verlagen, wanneer cross-docking goed uitgevoerd wordt (Gue; 2001).

Vervolgens zal in dit hoofdstuk de diverse eigenschappen van cross-docking verder toegelicht worden. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de verschillende soorten van cross-docking die bestaan en de voor- en nadelen die eraan verbonden zijn. In het volgende hoofdstuk gaan een aantal optimaliseringmodellen besproken worden. Deze modellen zijn erop gericht om cross-docking zo efficiënt en effectief mogelijk te doen verlopen. In hoofdstuk IV wordt, bij wijze van experiment, één van deze modellen omgezet in de LINGO modelleringstaal. Vervolgens zal in hoofdstuk V de werking van een specifieke cross-dock besproken worden. Het gaat hier dan over de cross-dock van Essers Transport Genk. Uiteindelijk worden de conclusies van het onderzoek vermeld in hoofdstuk VI.

B. Types cross-docking

In de praktijk blijkt cross-docking onder diverse vormen toegepast te worden. Om hierop een beter zicht te krijgen, stelt Napolitano (in Gue, 2001) volgend classificatiesysteem voor:

- 1) Fabricage cross-docking: ontvangst en consolidatie van inbound voorraden om Just-In-Time productie te ondersteunen. Een voorbeeld hiervan is een fabrikant die een magazijn dicht bij zijn fabriek leest en dit gebruikt voor de subassemblage of consolidatie van onderdelen. Omdat de vraag voor de onderdelen gekend is, bijvoorbeeld via een MRP systeem, is het overbodig om voorraad aan te houden.
- 2) Distributie cross-docking: consolidatie van inbound producten van diverse leveranciers op multi-SKU¹ pallets, die dan geleverd kunnen worden wanneer het laatste product ontvangen is. Zo krijgen computerverdelers vaak hun componenten van verschillende fabrikanten. Deze componenten komen dan samen in merge-in-transit² centra en worden geconsolideerd tot één verzending voordat ze geleverd worden aan de klanten.
- 3) Transport cross-docking: het consolideren van verschillende verzendingen bij de LTL³ en kleine verpakkingindustrie om zo schaalvoordelen te verkrijgen. Voor kleine verpakkingdraggers, gebeuren de materiaalbewegingen via een netwerk van transportbanden en sorteerdere. Voor LTL carriers gebeurt dit hoofdzakelijk via manuele behandeling met vorkliften.
- 4) Kleinhandel cross-docking: hierbij worden producten van meerdere leveranciers ontvangen en vervolgens verdeeld over de outbound trucks die verschillende winkels als bestemming hebben. Zo levert Wal-Mart, werelds grootste

¹ Stock Keeping Unit: een verhandelbare eenheid (bijvoorbeeld een doos of pallet) die door afnemers in de keten besteld kan worden. De SKU is uniek identificeerbaar, bijvoorbeeld door een barcode. Een SKU kan meerder consumenteneenheden bevatten.

² Merge-in-transit (MIT) is een logistiek concept waarbij een product op zijn weg naar de klant just-in-time wordt samengesteld uit componenten, afkomstig van geografisch verspreide toeleveranciers. Deze componenten worden door gespecialiseerde MIT software zo aangestuurd dat ze tegelijkertijd op een vaste plaats aankomen.

³ LTL: Less-Than-Truckload

kleinhandelaar, ongeveer 85% van zijn goederen via een cross-docking systeem. Gekoppeld met andere supply chain strategieën, zorgde cross-docking ervoor dat de voorraad turnover⁴ van 4,1 in 1990 naar 7,7 in 2003 steeg. Cross-docking wordt dan ook vernoemd als één van de grote redenen waarom Wal-Mart rond 1980 groter werd dan K-mart.

- 5) Opportunistisch cross-docking: in elk magazijn, het direct transporteren van een product van de ontvangsten kade naar de verzendingskade om zo aan een gekende vraag te voldoen.

De algemene wederkerende elementen voor al deze operaties zijn consolidatie en de extreem korte cyclustijd. Deze korte cyclustijd is mogelijk omdat de bestemming van een artikel vooraf of bij ontvangst gekend is.

Een andere verdeling kan gemaakt worden met betrekking tot de informatie, namelijk predistributie en postdistributie. In het eerste geval, maakt de leverancier het product klaar zodat een directe transfer in de cross-dock mogelijk is. Zo bevestigt de leverancier mogelijk de prijzen, barcodes, enz. zelf. De pallets worden minstens van een label voorzien zodat de arbeiders in de cross-dock ze onmiddellijk in outbound trucks kunnen plaatsen zonder tussenopslag. Hierdoor liggen de handelingskosten voor de distributeur bij predistributie lager dan bij de traditionele werkwijze. Het nadeel hierbij is echter dat het geheel zeer moeilijk te regelen wordt. De distributeur zijn leveranciers, die mogelijk met honderden zijn, moeten immers weten hoeveel van elke SKU naar welke eindklant gaat, en moeten de producten zo ook labelen.

Postdistributie, vermindert deze last, maar de arbeiders in de cross-dock moeten nu de goederen labelen bij de ontvangst. Dit veroorzaakt dan ook hogere arbeidskosten voor de distributeur.

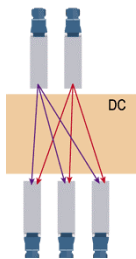
Een andere, uitgebreidere classificatie wordt aangevoerd door Specter (2004). Hierbij wordt cross-docking onderverdeeld in acht verschillende toepassingsvormen. De eerste drie hiervan worden gekenmerkt door de vereisten van het cross-docking proces met

⁴ Voorraad turnover is de jaarlijkse kost van de verkochte goederen gedeeld door de waarde van de voorraad. Hoe hoger dit is, des te hoger de efficiency en winstgevendheid vermits minder voorraden vast zitten per eenheid van verkoop en de cashflow overeenkomstig stijgt.

betrekking tot de stappen van behandeling, systeembehoeften en faciliteitenbehoeften. De laatste vijf worden dan weer gekenmerkt door de eigenschappen van de voorraadstroom die cross-docking mogelijk maken.

1. Puur cross-docking

Hierbij worden dozen of pallets via een één-stap directe beweging verplaatst van het ontvangstdok naar het verzendingsdok, dus van trailer naar trailer. De vereisten voor deze werkwijze zijn:

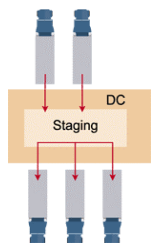


1. Een nauwkeurig gebruik van Advanced Shipment Notices (ASNs)
2. Een goed real-time warehouse management systeem (WMS)
3. Een snelle identificatie van de goederen via barcodes of aan de hand van radiofrequentie identificatie (RFID) labels
4. Een precies schema zodat zowel de inbound als de outbound trailers op hetzelfde ogenblik bij de cross-dock aanwezig zijn
5. Een voldoende aantal poorten om de trailers te kunnen plaatsen

Deze praktijk komt in het algemeen voor bij LTL vervoerders en hubs voor pakketvervoer.

2. Korte termijn wegzetting

De inbound goederen worden voor korte termijn weggezet in de terminal. Na deze korte periode worden ze dan weggevoerd. De goederen kunnen opgedeeld worden per bestemming of juist geaccumuleerd met de andere goederen van één bestelling.



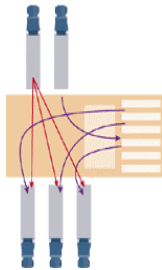
Vereisten

1. Een nauwkeurig gebruik van Advanced Shipment Notices (ASNs)
2. Een real-time WMS
3. Een gebied om de goederen tijdelijk te plaatsen
4. Een "redelijk" dichte timing tussen inbound en outbound

Een belangrijk kenmerk hierbij is "korte termijn" zodat het "wegzetten" geen "opslag" wordt. Het behandelen van het materiaal en het wegzetproces moeten goed ontworpen zijn om voordeel te kunnen opleveren.

3. Trailer als magazijn

Een trailer op een binnenplaats doet hier dienst voor de opslag van één soort product. De producten zijn gewoonlijk omvangrijk, een hoog volume of van promotionele aard.



Vereisten

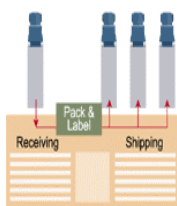
1. Een real-time WMS
2. Een accurate kennis over de trailerinhoud
3. Een management systeem voor het beheer op de binnenplaats
4. Een hoog volumineus product, ontvangen van de leveranciers in volle trailer hoeveelheden
5. Voldoende poorten

Indien iedere keer een klein aantal SKU's in truckhoeveelheden gekocht worden, is dit een goedkope en simpele wijze om met cross-docking te experimenteren.

4. Backorder verwerking

Dit wordt toegepast bij producten die te laat arriveren en verzonden moeten worden om uitstaande bestellingen te voldoen. Het is immers vaak zinvoller om de bestellingen te voldoen bij de ontvangst. Anders zouden de producten eerst in de voorraden gestopt en opgeslagen worden, waarna ze vervolgens als een gewoon orderpik proces beschouwd worden. Deze werkwijze behandelt daardoor een algemeen probleem dat de tijd en verwerkingskosten vermindert.

Vereisten

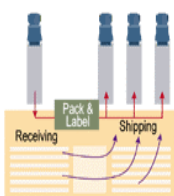


1. Een real-time WMS met backorder verwerkingsmogelijkheden
2. Uitputting van de voorraad van het product
3. Een goed ontworpen proces dat de functie efficiënt vervult en adequate controles uitvoert
4. Dit is eenvoudiger wanneer outbound ladingen per partij verzonden worden

De eerste verschijning van cross-docking was waarschijnlijk van dit type en wordt wellicht ook het meest frequent gebruikt. Echter, een groot aantal bedrijven, dat aan cross-dock backorders doen, hebben het proces niet ontworpen om formeel en efficiënt te zijn. Het doel is veeleer aan een dringende vraag te voldoen.

5. Speciale bestellingen

Hiertoe behoren de goederen die speciaal besteld worden voor een specifieke klant, of om een bepaalde promotie te ondersteunen die geen deel is van de standaardvoorraad. In plaats van de goederen weg te zetten bij ontvangst, worden ze het onmiddellijk verzonden naar de klant. Het gaat hier meestal over kleine hoeveelheden van SKU's.



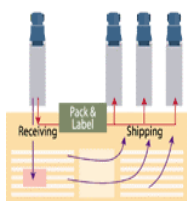
Vereisten

1. Een real-time WMS
2. De bestelling bevat een product dat onvoldoende in voorraad is.
3. De timing van ontvangst van de goederen moet gecoördineerd worden met de beloofde distributiedatum aan de klant

Hoewel de inbound/outbound timing vaak niet gekalibreerd is om cross-docking toe te laten, is dit een gebied met grote mogelijkheden voor veel bedrijven.

6. Opportunistisch

Delen van uitstaande orders worden dan voldaan met producten die momenteel ontvangen worden. In dit geval, zal de werkwijze ook blijven plaatsvinden indien voldoende voorraad aanwezig is in het magazijn om het order te voldoen. De magazijnvoorraad wordt hierbij dan overgeslagen met het doel op een hogere behandelingsefficiëntie. Immers, op deze wijze worden de wegzet en aanvul transacties geëlimineerd.



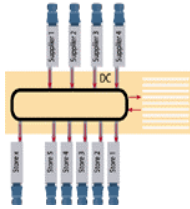
Vereisten

1. Een real-time WMS dat toelaat om vooraf opgeslagen voorraden over te slaan. Het WMS moet de mogelijkheden hebben om het ontvangstdok te erkennen als een pikfase met een hogere prioriteit dan de traditionele orderpik zones.
2. Geen strikte first-in/first-out (FIFO) werkwijze en dus ook geen strikte vervaldatum
3. Een hoog volume product dat meerdere malen per week ontvangen wordt.

Een probleem voor de uitvoering van deze werkwijze is dat de idee om de FIFO regels over te slaan het management kan doen afschrikken. Echter, omdat steeds teruggevallen kan worden op de reserve voorraad, is deze techniek een goede werkwijze om met cross-docking te experimenteren.

7. Vooraf toevertrouwde push

De ontvangen goederen hebben reeds een outbound klant toegewezen gekregen. De goederen komen aan als volle pallets en worden vervolgens opgesplitst en verzonden naar de klanten.



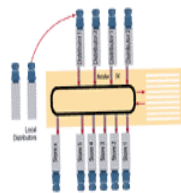
Vereisten

1. Een real-time WMS
2. Kopers die vooraf aankopen toewijzen aan winkels en dit doen ofwel op het tijdstip van aankoop of juist voor de ontvangst van de lading

Bij de kleinhandelsdistributie begon cross-docking van inbound materialen op grote schaal via deze werkwijze. Huidige praktijken vertragen immers de finale beslissing voor de winkelallocatie van de goederen tot op het laatste ogenblik. Dankzij deze werkwijze worden aanpassingen mogelijk die gebaseerd zijn op de laatste data over winkelverkoop en aanwezige voorraden.

8. Verplaats arbeid stroomopwaarts

De stroomopwaarts gelegen leveringspunten pikken en verpakken de goederen dan reeds per order. De goederen komen daarna op pallets aan, gemixt of enkele SKU. Vermits de pallets vooraf gepikt zijn kunnen ze rechtstreeks doorgestuurd worden.



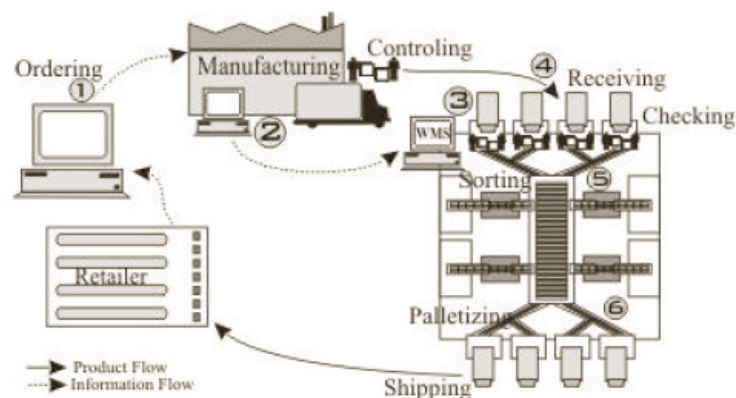
Vereisten

1. Een real-time WMS
2. Leveranciers die bereid zijn om te voorzien in waarde toevoegende activiteiten
3. Deze dienst wordt vaak enkel aan grote afnemers verleend
4. De capaciteiten en bereidheid om data en informatie te delen met leveranciers

Dit type is waarschijnlijk het meest heersend, in termen van volume, met grote klanten die de voorraad en behandelingsfases stroomopwaarts verplaatst hebben naar de leveranciers of distributeurs.

C. Werkwijze

De werkwijze bij cross-dock verrichten wordt onder meer door Abdolvand en Kurnia (2005) beschreven. Zo ontvangt elke fabrikant in het begin elektronische orders van zijn klanten voor individuele winkels. De bestelde goederen worden dan geleverd aan de distributiecentra op de opleveringsdatum ((1) in Figuur 1). Vervolgens verstuurt de fabrikant een "advance shipping notice" (ASN) naar de distributeur. Dit is een elektronisch document dat beschrijft wat vervoerd wordt voordat de producten arriveren (2). Met de informatie van de ASN, kan het "warehouse management systeem" (WMS) van de distributeur een beslissing maken over wat te doen met de binnenkomende producten (3). De producten kunnen naar de outbound poort verplaatst worden om de goederen verder naar de kleinhandelaar te zenden. De goederen kunnen ook tijdelijk bijgehouden worden om nadien geleverd te worden met de volgende groep van trailers die van andere fabrikanten komen. Een andere mogelijkheid is dat producten tijdelijk opgeslagen worden wegens een gebrek aan trailers bij het distributiecenter.



Figuur 1: Werkwijze cross-dock⁵

Bij de ontvangst van de goederen bij het distributiecentrum, worden de producten van de trailers geladen, van de pallets ontdaan en vervolgens manueel of automatisch gecontroleerd via het scannen van barcodes. Hiermee kunnen ze dan geverifieerd worden met de informatie van de ASN (4). Daarna worden de ontvangen pallets gesorteerd op basis van hun bestemming (5). Het manueel sorteren is een arbeidsintensief proces met een hoog fouten ratio, daarom worden soms automatische sorteerdere gebruikt bij de distributiecentra. Deze lezen de barcodes, op elke pallet, die

⁵ Abdolvand en Kurnia (2005)

de bestemming aangeven en leiden de pallets vervolgens naar de korte termijn opslagplaats of naar een outbound trailer. Vermits de scanners de barcodes slechts in één richting kunnen inlezen, moeten de operators verzekeren dat elke eenheid de correcte positie heeft op de transportband. Op het einde van de sorteerlijn, worden de gesorteerde items opnieuw op pallets geplaatst en in de trailers geladen of tijdelijk opgeslagen (6). Uiteindelijk worden ze dan naar hun bestemming gebracht.

Echter, een probleem met ASN's is volgens Lindert (2006) dat dit door bijna geen enkele WMS ondersteund wordt. De meeste systemen gaan alleen uit van de gebeurtenissen die in het magazijn plaatsvinden en kunnen niet plannen met goederen die nog onderweg zijn. Hierdoor is het noodzakelijk voor wie zijn cross-dock activiteiten wil plannen, te investeren in maatwerk.

Daarnaast merken Bartholdi et al (2001) op dat in het ideale geval, de vracht nooit de grond moet raken. Het zal in bepaalde gevallen toch noodzakelijk zijn dat de arbeiders de vracht wegzetten. Dit kan onder meer nodig zijn:

- om waarde toevoegende processen uit te voeren, zoals etiketten en prijzen aanbrengen,
- om op andere goederen van een order te wachten,
- om makkelijker dicht verpakte ladingen te krijgen,
- om in omgekeerde manier van bestelling te kunnen inladen indien meerdere stopplaatsen aangedaan worden.

Daarnaast merken Li et al (2004) nog op dat sommige cross-dock centra opgesplitst worden in een invoergebied en een uitvoergebied. Hier gebeuren respectievelijk de afbouw en opbouw van de containers. Dit is eveneens zichtbaar in figuur 1.

D. Voordelen

Het belangrijkste kenmerk van cross-docking is natuurlijk de sterke afname of zelfs eliminatie van de voorraden ten opzichte van de normale werkwijze. Hieruit vloeien dan ook aanzienlijke kostenbesparingen op vlak van ruimte, risico en rente.

Door de lagere voorraadniveaus is immers minder ruimte vereist en dalen bijgevolg ook de onderhouds- en verwarmingskosten. Verder vergroot ook de capaciteit van de opslagruimte. Hierdoor kunnen dan onder meer verschillende producten verwerkt worden op dezelfde oppervlakte. Daarnaast daalt onder andere ook het risico dat voorraden vervallen, uit de mode raken of beschadigd worden in een brand. Bovendien zal ook het kapitaal dat in opgeslagen voorraden vastzit verminderen. Hierdoor wordt dus bespaard aan de hand van opportuniteitskosten, het kapitaal kan nu immers voor andere doeleinden gebruikt worden of gewoon rente opbrengen. (Gue; 2001)

Bovendien is dankzij cross-docking, naast lagere voorraadniveaus, ook een stabielere productieplanning mogelijk en zal efficiënter promotie gevoerd kunnen worden (Abdolvand en Kurnia; 2005). Cross-docking stelt fabrikanten immers in staat een hoge zichtbaarheid te hebben op de individuele vraag van winkels. Dit komt doordat de fabrikanten bij cross-docking de individuele vereisten van de winkels zelf krijgen. Echter, door gebruik te maken van individuele bestellingen van winkels, ontstaat het risico dat fabrikanten hun batchhoeveelheden bij de productie gaan aanpassen naar gelang de vraag van de winkels. Dit kan dus onder meer voor problemen zorgen wanneer een onverwachte stijging in de vraag optreedt of wanneer problemen opduiken in het productieproces.

Daarnaast wordt, dankzij cross-docking, de kleinhandelaar niet meer direct geraakt door het "zweepslageffect"⁶. Immers, vermits de kleinhandelaars bij cross-docking geen voorraad meer dragen in het distributiecentrum, moet daar ook geen veiligheidsvoorraad meer gehouden worden om met de variabiliteit om te kunnen gaan die veroorzaakt wordt door het "zweepslageffect". In plaats daarvan laat cross-docking

⁶ Zweepslageffect of bullwhip effect: de schommelingen in de vraag worden groter naarmate verder in de keten bewogen wordt van de eindgebruiker in de richting van de producent. Het effect manifesteert zich als een zweepslag: een kleine schommeling aan het begin van de keten (bij de eindgebruiker) geeft aanleiding tot grote schommelingen op het einde van de keten (bij de producent).

toe het probleem, dat veroorzaakt wordt door het zweepslageffect, stroomopwaarts te verplaatsen naar de leveranciers (Waller et al; 2006).

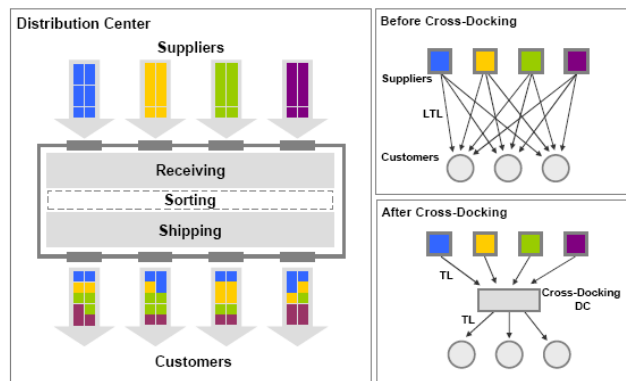
Echter, voor grote kleinhandelaars blijven mogelijk nog gevolgen, al dan niet indirect, vanwege het zweepslageffect bestaan. Dit komt doordat een significant zweepslageffect vanwege deze groep, een reductie in beschikbaarheid bij de toeleveranciers kan veroorzaken. Deze reductie in beschikbaarheid bij de leveranciers veroorzaakt vervolgens een stijging in de lead tijd variabiliteit van de leveranciers, waardoor bijkomende veiligheidsvoorraden op het winkelniveau noodzakelijk zijn. Daardoor ontstaat dus een kost van het doorgeven van het probleem van het zweepslageffect (Waller et al.; 2006).

Verder zal, volgens Aichlmayr (2001), ook de kans op de beschadiging van goederen afnemen doordat minder behandelingsactiviteiten nodig zijn. De goederen gaan nu immers rechtstreeks van inbound naar outbound. De tussenliggende behandelingsactiviteiten zoals het wegzetten in rekken gebeuren nu niet meer.

Terreri (2001) vernoemt ook nog volgende voordelen:

- Lagere arbeidskosten: cross-docking zorgt voor significante besparingen op vlak van arbeidskosten door de eliminatie van de behoefte voor wegzet- en aanvulactiviteiten.
- Extreem korte cyclustijd: deze korte cyclustijd is mogelijk omdat de bestemming van een product reeds vooraf of bij de ontvangst gekend is. De producten stromen dus sneller doorheen het magazijn in plaats van opgeslagen te worden.
- Verminderde diefstal: door de snelle doorstroming daalt de kans op diefstal. Het valt immers meer op als eenheden ontbreken die pas enkele uren voordien geleverd zijn.
- Verhoogde klanttevredenheid: door de verhoogde capaciteit van het distributiecentrum en de verminderde voorraad in filialen kunnen meer productlijnen worden verkocht. Dit betekent dat de keuzemogelijkheid van klanten uitgebreid wordt. Daarnaast ondersteunt cross-docking ook de just-in-time strategieën van de klant. Hierbij is immers een hoge leveringsfrequentie vereist. Vaak betekent een hoge leveringsfrequentie zonder cross-docking een lage beladingsgraad van vrachtwagens. Doordat bij cross-docking de leveringen van verschillende leveranciers samengevoegd worden, valt dit nadeel weg. Bovendien heeft de verhoogde leveringsfrequentie tot gevolg dat de klant niet lang op zijn bestellingen zal moeten wachten.

Ook Rodrigue (2006) merkt de voordelen met betrekking tot de transportkosten op. Zo worden de goederen bij een conventioneel distributiesysteem in een distributiecentrum of bij de leverancier opgeslagen. Vervolgens wordt dan gewacht tot ze besteld worden door een klant. Zoals in figuur 2 zichtbaar is, zal het in zulke situaties moeilijk zijn om verzendingen te hebben die niet minder dan vrachtwagenlading zijn ofwel niet LTL.



Figuur 2: Cross-docking distributiecenter⁷

Indien cross-docking wordt toegepast, worden de goederen reeds vooraf toegewezen aan een klant. Het distributiecentrum ontvangt goederen van leveranciers en sorteert deze onmiddellijk. Daarna worden de goederen via een geconsolideerde partij, vaak met inbegrip van andere orders van andere leveranciers, naar de klanten verscheept. Aangezien voor elke leverancier minder verzendingen plaatsvinden, zijn de meeste van hen volledige vrachtwagenlading (TL).

⁷ Rodrigue (2006)

E. Nadelen

Naast voordelen heeft cross-dock natuurlijk ook een aantal belangrijke nadelen. Zo kan het voorkomen dat bij bepaalde cross-docking toepassingen de klanten langer moeten wachten op de levering van de goederen. Dit komt doordat de goederen niet meer opgeslagen liggen in een magazijn. Hierdoor moet immers het inbound transport naar het cross-dock centrum nog steeds gebeuren. Dit verlengt dan de vereiste lead tijden. Echter, de toegevoegde zekerheid van strak geplande leveringen levert vaak meer voordelen op dan de onzekerheid geassocieerd met de langere lead tijden (Gue; 2001).

Bovendien zal cross-docking in bepaalde gevallen de lead tijden zelfs kunnen inkorten. Zo bespreken Ratliff et al (2006) het Ford Motor Company's North American automobiel leveringssysteem, waarop in deel III nog dieper zal ingegaan worden. Hierbij wordt van een cross-dock centrum gebruik gemaakt om zo het gemiddeld aantal dagen dat nodig is om de voertuigen te leveren te verminderen. Dit kan dan ook grote besparingen opleveren. Zo rapporteerde Ford dat het ongeveer 4,8 miljoen voertuigen in Noord Amerika verkocht in 1999. Bij een gemiddelde waarde van ongeveer \$20.000 per voertuig, betekende elke dag reductie van de gemiddelde leveringstijd ongeveer een besparing van \$260 miljoen in pijplijnvoorraad.

Waller et al. (2006) merken daarentegen op dat, het in bepaalde situaties kan voorkomen dat door cross-docking juist meer voorraad in de winkels ontstaat. Deze extra voorraad is dan vereist om de klanten hetzelfde dienstverleningsniveau aan te blijven bieden. Immers, door de gestegen lead tijd voor een aantal winkels, is ook meer veiligheidsvoorraad nodig op winkelniveau. Echter, in winkels is slechts een beperkte hoeveelheid schapruimte beschikbaar. Daardoor zal, indien dezelfde "in-voorraad kansen" behouden moeten worden, in sommige gevallen simpelweg niet genoeg ruimte beschikbaar zijn om alle artikelen te cross-docken. Daarom moet bij de implementatie van cross-docking ook aandacht besteed worden aan de impact hiervan voor de beschikbaarheid voor klanten. Vooral kleinhandelaars die reeds uitgedaagd worden door product beschikbaarheidsproblemen moeten hiervoor uitkijken.

Het belang van product beschikbaarheid werd door Taylor en Fawcett (2001) onderzocht. Uit het onderzoek bleek dat stock-outs het meest gemeld werden als oorzaak van frustraties bij ontevreden klanten. Bovendien is uiteindelijk de ervaring van

de finale klant allesbepalend. Een falen in dit punt zorgt ervoor dat alle voorafgaande activiteiten in de toeleveringsketen betekenisloos worden, ongeacht hoe foutloos alles werd uitgevoerd. Simpelweg gezegd, wanneer klanten een winkel aandoen met de intentie een product te kopen, verwachten zij dat dit product ook beschikbaar is. Indien ze een leeg schap vinden, wordt niet voldaan aan de verwachtingen en zal dit een bepaalde hoeveelheid ontevredenheid veroorzaken. Daarenboven, besluiten ze mogelijk het product bij een concurrent te kopen. In dat geval is niet alleen de verkoop op dat ogenblik verloren, maar ook, indien de klant de aankoopervaring bij de concurrent zo goed vond, is het mogelijk dat een levenslange stroom van inkomsten verminderd wordt of zelfs volledig verloren gaat. Een simpel falen van de dienstverlening kan zo kostelijk worden voor zowel de kleinhandelaar als de volledige toeleveringsketen.

Daarom hebben Taylor en Fawcett (2001) ook onderzoek gedaan naar het aantal artikelen dan uit voorraad is in winkels en de gevolgen hiervan. Ze hebben berekend dat 7,6% van de artikelen in hun studie niet meer in voorraad waren op het schap van de kleinhandelaars. Hetzelfde bleek voor 16.5% van de geadverteerde eenheden. Een andere studie uit 1996 over stock-out prestaties door Arthur Anderson van de "Coca Cola Retailing Research Council" suggereerde dat gemiddeld 8,2% van de artikelen niet meer in voorraad was. Dit out-of-stock ratio varieerde van 3,9% voor baby luiers tot 11.1 % voor yoghurt.

Dit is zeer kostelijk indien overwogen wordt dat wanneer "stock-outs" gebeuren op winkelniveau, tussen 14.1% en 47.9% van de klanten de winkel verlaten, afhankelijk van de goederen en andere factoren. Een eerdere studie uit 1991 concludeerde dat bij stock-outs van de kleinhandelaar 26,8% van de kopers geen product substitueerde, 20,5% veranderde van merk maar behield dezelfde aantallen en variëteiten, 17,6% veranderde van variëteit maar bleef bij hetzelfde merk en 13,7% plande om naar een andere winkel te gaan. De resterende klanten ondernamen nog andere acties. (Taylor en Fawcett; 2001)

Verder argumenteren Waller et al. (2006) dat cross-docking slechts voordelig kan zijn, vanuit een voorraadreductie perspectief, wanneer de totale stijging in veiligheidsvoorraad bij alle winkels minder is dan de reductie in voorraad bij het distributiecentrum dat de winkels bedient. Echter, vermits het houden van voorraad op winkelniveau veel kostelijker is dan op het niveau van een distributiecentrum, moet voor

cross-docking voordelig te maken meer voorraad verwijderd worden uit het distributiecentrum dan wanneer de kosten gelijk zouden zijn.

Andere nadelen die door Boktaeva en Kulikauskaite (2004) worden aangehaald zijn de beperking van de leverancierskeuze en de tijdsdruk op de transporten.

De beperking in leverancierskeuze ontstaat bij cross-docking doordat niet alle leveranciers in staat zullen zijn om aan de vereisten te voldoen. Bovendien vereist cross-docking een hoge graad van samenwerking en vertrouwen tussen beide partijen om een goed werkend cross-docking proces te verwezenlijken. Deze factoren bepalen dan ook in grote mate de kans op succes bij cross-docking. Daarom is een goede organisatie en goed management van de onderlinge relaties een absolute noodzakelijkheid en zal een degelijk partnerschap onontbeerlijk zijn. Indien dit niet gebeurt, bestaat de kans dat de kleinhandelaar een significant deel van de controle over de werking gaat verliezen. Dit komt dan door een te groot vertrouwen in de leveranciers.

Ook de tijdsdruk op de transporten is een belangrijke oorzaak van falen bij cross-docking. Dit wordt op veel plaatsen een steeds groter probleem door de stijging van de congestie op de weg. Een precieze timing is echter van kritisch belang bij cross-docking. Indien niet voldaan kan worden aan de tijdsvensters, kan dit de andere verbonden activiteiten in de supply chain vertragen. Zo zijn vaak de aanwezige voorraden in de distributiecentra en winkels nog maar voor zeer beperkte tijd voldoende. Opstoppingen in het systeem kunnen dan ook een totale 'stock-out' voor een afnemer betekenen, wat dan grote kosten met zich kan meebrengen. Daarom moet rekening gehouden worden met onvoorziene gebeurtenissen in het vervoersnetwerk. Hierbij moeten de voordelen van een kleine voorraad berekend en gebalanceerd worden tegenover het mogelijk voorkomen van falen.

Daarnaast merkt Schaffer (2000) ook op dat cross-docking de flexibiliteit om de werkbelasting te spreiden, sterk vermindert. De totale belasting blijft mogelijk wel hetzelfde maar het werk tijdens de piekuren stijgt significant. Het is dan ook noodzakelijk om de hoeveelheid, duur en timing van de piekbelasting te analyseren. Hiermee kan dan bepaald worden op welke wijze het materiaalgebruik en de arbeidsproductiviteit gemaximaliseerd kunnen worden.

F. De beslissing maken om tot cross-docking over te gaan

Vermits cross-docking grote aanpassingen in de organisatie vereist en tevens diverse risico's inhoudt, zal het noodzakelijk zijn het proces doordacht in te voeren. Daarom raadt Terreri (2001) volgende stappen aan alvorens tot cross-docking over te gaan.

- Buiten het kader denken

Cross-docking is geen gebruikelijke zakelijke inspanning en vereist een nieuwe benadering bij het bedenken. Bovendien hebben sommige mensen het moeilijk om het concept van "bewegende" in plaats van opgeslagen goederen te begrijpen.

- Beoordeel de werking van uw magazijnen

De beoordelingsfase dwingt managers om hun systemen te bekijken en te bepalen of cross-docking de meest praktische en kosteffectieve oplossing is. Dit omvat ook een uitvoerig overzicht van al de producten om te bepalen welke producten het meest bruikbaar zijn voor cross-docking. Vervolgens moet ook het verleden van de leveranciers onderzocht worden. Dit is nodig om te bepalen welke de meest consistente dienst kan leveren en of aan de vereisten van cross-docking kan voldaan worden.

Enkele factoren die een beslissing om over te gaan tot cross-docking beïnvloeden, omvatten het bezit van een groot gebouw voor het onderbrengen van de cross-dock operatie, identificeren van de in grote hoeveelheden en tegen hoge snelheden passerende items doorheen de distributiecentra en het vinden van leveranciers die ervaring hebben met betrekking tot het samenwerken met cross-dock partners.

- Identificeer de kosten en besparingen

Een systeemwijd kostenmodel wordt gecreëerd om de jaarlijkse kosten en besparingen met en zonder cross-dock te bepalen. Het primaire doel van dit kostenmodel is het identificeren van de verandering in totale kosten resulterend van het introduceren van cross-docking in het huidige systeem. Daarnaast zal het creëren van een kostenmodel voor de producten helpen bepalen wat de impact van cross-docking is op een product zijn winstgevendheid.

- Specificeer en assembleer de nodige componenten

Het kiezen van de juiste producten voor te cross-docken is dan wel één van de eerste stappen, maar de methode voor de uitwisseling van informatie en het maken van leveranciersrelaties zijn even belangrijk. Partners moeten precieze informatie uitwisselen en daarbij zichtbaarheid tonen van de producten tot hun uiteindelijke bestemming.

Het is belangrijk te weten wanneer en welk product ontvangen zal worden, in welke hoeveelheden en voor welke bestemming. Dit is dan enkel voor de ontvangst en wordt hoofdzakelijk bepaald via ASN's. Bovendien moeten de producten vaak toegewezen worden aan orders voordat het goed fysiek ontvangen is. De mate waarin een magazijn daartoe in staat is, heeft dan ook een grote invloed op het vlot doen verlopen van het cross-docking proces.

- Implementeer een pilootprogramma

Een pilootprogramma kan demonstreren hoe de gekozen componenten samenwerken om de producten te leveren voordat het volledig cross-docking programma geïmplementeerd wordt.

Het blijft volgens Schaffer (2000) van groot belang te controleren of alle partijen aan de vooraf overeengekomen vereisten voldoen en waar eventuele bijsturing nodig is. Eenmaal begonnen met cross-docking moet dan ook een formeel analytisch systeem aanwezig zijn. Dit moet meten en opvolgen of aan de vereisten voldaan blijft en moet ook een continue feedback leveren. Bovendien moeten alle specificaties periodiek nagekeken worden en de nodige aanpassingen uitgevoerd waar nodig.

Schaffer (2000) stelt ook volgend programma ter implementatie van cross-docking voor:

1. Creëer teams bestaande uit intern en extern personeel van elke categorie.
2. Ontwikkeling van de vereiste aanpassingen
3. Plannen van deze aanpassingen
4. Implementatie en testen van de veranderingen
5. Opstellen van een plan en schema voor de implementatie van cross-docking
6. Implementatie van een cross-docking piloot programma
7. Evaluatie van het pilootprogramma en het toepassen van de nodige aanpassingen
8. Implementatie van cross-docking
9. Een periodieke controle van de werking en de nodige aanpassingen doorvoeren

G. Voorwaarden voor de implementatie van cross-docking

Voordat cross-docking verwezenlijkt kan worden, zal eerst onderzocht moeten worden welke producten hiervoor in aanmerking komen. Volgens Gue (2001) is een product een goede kandidaat wanneer de vraag ernaar aan twee voorwaarden voldoet: een voldoende lage variatie en een hoog volume. In die zin komt cross-docking sterk overeen met Just-In-Time productie. Beide technieken zijn immers enkel leefbaar wanneer de vraag een lage variatie en een hoog genoeg volume heeft. Dit hoge volume rechtvaardigt dan de frequente setups of deze setups moeten lage kosten voortbrengen.

In het extreme geval dat de vraag naar een product constant is, kan het magazijn eenvoudig regelen dat het de juiste hoeveelheid op de juiste dag krijgt. Bij onzekere vraag, is cross-docking moeilijk omdat vraag en aanbod moeilijk overeen te stemmen zijn. De leverancier zal dan extra voorraden moeten aanleggen om ervoor te zorgen dat hij aan alle bestellingen van de afnemer kan voldoen. Dit kan dan de gerealiseerde voorraadvermindering in de keten deels tenietdoen. (Gue; 2001)

Ook zal rekening gehouden moeten worden met het niveau van de stock-out kosten per eenheid of de kosten van verloren verkopen van één eenheid product. Door cross-docking wordt immers ook de veiligheidsvoorraad tot een minimum gereduceerd. Hierdoor stijgt dus de kans op stock-out situaties. Echter, indien deze kosten laag zijn, kan cross-docking toch voordeliger zijn vanwege de sterkere daling van de vervoerskosten. Daarom wordt cross-docking ook verkozen voor producten met een stabiele en constante vraag en lage uitvoorraad kosten per eenheid. Voor producten met een onstabiele of fluctuerende vraag en hoge uitvoorraad kosten, zullen de traditionele opslag en distributiestrategieën de voorkeur krijgen (Boktaeva en Kulikauskaite; 2004).

Boven op een lage variatie, moet ook de vraag naar het product voldoende groot zijn om frequente transporten te verzekeren. Bij een te lage vraag, zorgen frequente transporten voor overdreven inbound transportkosten en zou het magazijn beter af zijn met het gewoon aanhouden van een voorraad.

Tabel 1: Stock-out kosten tegenover vraag naar het product⁸

		Vraag naar Product	
		Stabiel en constant	Onstabiel en fluctuerend
Stock-out kosten per eenheid	Hoog	Cross-docking kan geïmplementeerd worden indien goede systemen en planning aanwezig zijn	Traditionele opslag/distributie wordt verkozen
	Laag	Cross-docking wordt verkozen	Cross-docking kan geïmplementeerd worden indien goede systemen en planning aanwezig zijn

Één van de gebruikte strategieën door detailhandelaars, zijn gecentraliseerde inkopers die bepalen wat getransporteerd moet worden naar de winkels in plaats van dat de winkels dit zelf moeten doen. Het is dus strikt een push distributie systeem waardoor het niet noodzakelijk is om een veiligheidsvoorraad aan te houden. Op deze wijze verwijderen de inkopers op een effectieve wijze de variatie uit de vraag vanwege de afnemers van de kleinhandelaars, maar niet uit die van de uiteindelijke consumenten. (Gue; 2001)

Ook zal het totale behandelde volume door het magazijn voor een regio in schaalvoordelen resulteren. Deze schaalvoordelen en stabiliteit in vraag zullen makkelijker te verkrijgen zijn wanneer het magazijn zich dicht bij verschillende vraagpunten bevindt van kleinhandelaars. Daarnaast hebben ook de vereisten met betrekking tot dienstverlening invloed op de stock-out kosten of verloren verkopen. In het algemeen, houden hoge dienstvereisten immers grote fluctuaties in de vraag in en maken het daardoor moeilijker om de cross-docking faciliteit te laten werken (Boktaeva en Kulikauskaite; 2004).

Een goed product voor cross-docking moet ook relatief eenvoudig te behandelen zijn. Zo bepaalt bijvoorbeeld "Home Depot" eerst welke producten doorheen de cross-dock gaan door alle huidige inbound transportkosten en behandelingskosten te analyseren. Omdat de besparingen in transportkosten tenietgedaan gedaan kunnen worden door excessieve handelingskosten, zullen bepaalde goederen direct naar de winkels getransporteerd worden in plaats van eerst doorheen de cross-dock. Daarnaast kan de gehele operatie ook sneller verlopen, wanneer minder handelingen nodig zijn. (Gue; 2001).

⁸ Boktaeva en Kulikauskaite (2004)

Dit alles betekent dat goederen die waarde toevoegende activiteiten vereisen, pas gelanceerde en promotionele producten slechte kandidaten zijn voor cross-docking. Deze vereisen immers te veel behandeling of, in het geval van nieuwe en promotionele producten, hebben een te onzekere vraag (Aichlmayr; 2001).

Bovendien zal, op het ogenblik dat een bestelling binnenkomt, het product binnen afzienbare tijd bij de cross-dock moeten zijn. Voor producten met een lange levertijd zoals importproducten die over zee komen, is cross-docking vaak geen goed alternatief. De afnemer weet op voorhand niet hoeveel producten verkocht gaan worden en legt dus extra voorraad aan. Bovendien zijn transportkosten bij importproducten vaak relatief zo hoog, dat één of meerdere containers tegelijk besteld worden. Het bestellen van kleine hoeveelheden om deze te cross-docken weegt dan vaak niet op tegen de hoge transportkosten (Boktaeva en Kulikauskaite; 2004).

Daarnaast deelt Schaffer (2000) de andere vereisten van cross-docking op in zes categorieën:

- 1) Partnerschappen met andere leden van de distributieketen
- 2) Volledig vertrouwen in de kwaliteit en beschikbaarheid van het product
- 3) Communicatie tussen de supply chain leden
- 4) Communicatie en controle binnen de cross-docking processen
- 5) Personeel, materiaal en voorzieningen
- 6) Tactisch management

1) Partnerschappen

Door de implementatie van cross-docking ervaren de kanaalpartners vaak een stijging in de kosten. Aan de aanbodzijde, zal de leverancier mogelijk gevraagd worden om meer frequent kleinere transporten te leveren of om prijzen of barcodes te bevestigen. Aan de vraagzijde wordt de klant mogelijk gevraagd om enkel op bepaalde dagen te bestellen, of enkele extra dagen leveringstermijn toe te laten. Al deze vereisten leiden tot extra kosten en meer vereiste coördinatie voor de kanaalpartners. De besparingen door het gebruik van cross-docking moeten natuurlijk hoger zijn dan de extra kosten om het systeem leefbaar te houden (Gue, 2001).

Dat cross-docking verschillende vereisten en variërende impact op fabrikanten, distributeurs en kleinhandelaars heeft, erkennen ook Abdolvand en Kurnia (2005). Zo

vereist de implementatie van cross-docking dat de fabrikanten een elektronische handelsinfrastructuur hebben die hen in staat stelt om informatie te delen met de distributeur en de kleinhandelaars, om zo in een accurate bevoorrading te voorzien op geregelde tijdstippen. Hiervoor moeten de fabrikanten in staat zijn om bedrijfsdocumenten elektronisch in een EDI formaat te kunnen ontvangen en verzenden. Eveneens moeten ze een "bar coded Serial Shipping Container Code", SSCC kunnen aanmaken om ladingen met EDI berichten te kunnen identificeren. Verder moeten fabrikanten complexere orderverwerkende infrastructuur bezitten om efficiënt om te kunnen gaan met de kleine individuele bestellingen van winkels.

Cross-docking lijkt voor distributeurs zeer efficiënt te zijn. Deze hebben dan geen nood meer aan een groot distributiecentrum, complexe computersystemen en het aantal activiteiten die geen waarde toevoegen vermindert. Dus het impliceert lagere overheadkosten⁹ in de behandeling van goederen, lagere infrastructuureisen en een lager risico voor het overbelasten van de magazijnen. Andere kostenbesparingen kunnen bereikt worden door het dalen van het aantal beschadigde producten als resultaat van een lagere dubbele behandeling, daarnaast wordt de opslag voor lange periode geëlimineerd waardoor de kans op verlopen producten veel kleiner is, enz. Bovendien, dankzij de 100% naleving van de Advance Shipping Notices met het gebruik van Serial Shipping Container Codes en scan-verpakken bij leveranciers, wordt het willekeurige controleren vereenvoudigd en zouden de kosten verder kunnen worden gedrukt.

Bovendien stijgen, volgens Gue (2001), ook de vereisten met betrekking tot de kwaliteit van de ontvangen goederen. Het doel van cross-docking is immers onmiddellijk producten te transporteren naar outbound trucks. Hierdoor ontbreekt de tijd om de kwaliteit van de ontvangen goederen in de cross-dock te controleren. Ideaal, zou dit ook het tellen moeten elimineren, hoewel dit niveau van vertrouwen zeldzaam is.

Verder geven Abdolvand en Kurnia (2005) ook nog de effecten voor de detailhandelaren aan. Hier zullen de producten, vermits de meeste niet opgeslagen worden in het magazijn, een langer leven doorbrengen op de schappen. Echter, lagere logistieke kosten door de efficiëntere werking bij de distributiecentra kunnen enkel verkregen

⁹ Overheadkosten: kosten die niet direct aan een bepaalde productieactiviteit zijn toe te rekenen zoals de kosten van de centrale leiding van een concern.

worden indien de kostenbesparingen bij de distributeur ook doorgerekend worden ten voordele van de kleinhandel, individuele winkels en dit via een verminderde aanrekening van de dienstverlening bij de levering van producten. Daarenboven vereist cross-docking dat de detailhandelaren een IT infrastructuur hebben om het bevoorradingsproces te automatiseren. Hiervoor is de implementatie van "computer-aided" bestellen en EDI voor het verzenden van aankooporders nodig. Bovendien bestaat het risico voor handelaars dat, indien de leveranciers niet op tijd leveren, de kleine voorraad uitgeput gaat raken.

Onderstaande tabel geeft de verdelingen van de voordelen, kosten en risico's van cross-docking voor de diverse deelnemers aan de supply chain weer. Zulke ongebalanceerde verdeling van distributiekosten, voordelen en risico's blijkt één van de grootste obstakels te zijn voor het gebruik van cross-docking.

Tabel 2: Overzicht van voordelen, kosten en risicoverdeling¹⁰

	Fabrikanten	Distributeurs	Retailers
Voordelen	Laag	Hoog	Medium
Kosten	Hoog	Laag	Medium
Risico's	Medium	Laag	Hoog

2) Vertrouwen

Cross-docking is een zogenaamde "real-time" werkwijze en vereist een continue materiaalstroom. Het is dan ook van groot belang dat de volledige zekerheid bestaat dat de correcte producten met de vereiste kwaliteit beschikbaar zijn wanneer dit nodig is. Hiervoor moet dan ook een systeem aanwezig zijn dat controleert of steeds aan alle specificaties voldaan is en de aanpassingen doorvoert waar deze vereist zijn (Schaffer; 2000).

3) Communicatie tussen leden

Zoals reeds eerder vermeldt, is het bij cross-docking van groot belang dat alle informatie onmiddellijk beschikbaar is. Zo moet geweten zijn welke producten een lading bevat voordat deze ontvangen wordt. De enige wijze om deze informatie snel genoeg te verspreiden is via het gebruik van EDI of andere technieken. Zo moet de transportorganisatie onder meer continu voorzien worden van de leveringstermijnen (Schaffer; 2000).

¹⁰ Abdolvand en Kurnia (2005)

4) Communicatie en controle binnen de cross-docking processen

Ook binnen de cross-dock is een goede communicatie noodzakelijk. Immers, eenmaal goederen bij de cross-dock arriveren, moeten deze vlot doorheen het gehele proces kunnen gaan. In deze interne communicatie kan voorzien worden via een degelijk warehouse management systeem (Schaffer; 2000).

5) Personeel, materiaal en voorzieningen

Cross-docking elimineert of doet de opslag en het orderpikken sterk dalen. Echter, om hieraan te kunnen voldoen, stijgen de vereisten betreffende het ontvangen en verzenden van goederen. Voordat met cross-docking begonnen wordt, moeten de vereisten duidelijk begrepen zijn en voldoende middelen toegewezen worden om aan alle behoeften te voldoen.

Ook is het noodzakelijk om over voldoende ruimte te beschikken voor het plaatsen van trailers. Dit komt door de onzekerheid met betrekking tot de transporttijden. Hierdoor moeten arriverende trailers soms tijdelijk geparkeerd worden voordat ze echt ontvangen kunnen worden. Hetzelfde geldt voor lege trailers voordat deze verzonden kunnen worden. Verder moet voldoende personeel en materiaal aanwezig zijn om de trailers naar de juiste plaats te brengen.

Daarnaast vermindert cross-docking sterk de flexibiliteit om de werkbelasting te spreiden. De totale belasting blijft mogelijk wel hetzelfde maar het werk tijdens de piekuren stijgt significant. Het is dan ook noodzakelijk om de hoeveelheid, duur en de timing van de piekbelasting te analyseren om zo te bepalen op welke wijze het materiaalgebruik en de arbeidsproductiviteit gemaximaliseerd kunnen worden.

Daarenboven vereisen bepaalde producten significant meer van bepaalde productiemiddelen dan van andere. De productiecapaciteit wordt daarnaast ook berekend op basis van de gemiddelde vereisten, waarbij de producten geproduceerd worden in zulke volgorde dat piekvereisten van beperkte middelen geminimaliseerd worden. Het is echter ook noodzakelijk dat de capaciteit van de beperkende middelen verhoogd wordt. Dit komt door de lagere flexibiliteit bij het plannen om de piekbelasting van deze middelen te minimaliseren.

Ook wordt de productieplanning vaak zo gedaan dat deze de omschakel- en schoonmaaktijden minimaliseert. Echter, door de lagere planningsflexibiliteit bij cross-docking stijgt de nood aan omschakelingen en schoonmaak. De impact van deze stijging kan vaak geminimaliseerd worden door het verbeteren van deze taken en/of door het voorzien van extra middelen, om zo de nood aan deze twee taken te reduceren of zelfs te elimineren.

Vaak zijn ook significante aanpassingen nodig op het vlak van kwaliteitscontroles en de wijze van productieplanning. Zo worden soms afgewerkte goederen geproduceerd die eerst opgeslagen moeten worden tot de resultaten van de kwaliteitstesten verkregen zijn. Cross-docking elimineert echter de voorraden van afgewerkte goederen, waardoor het product getest en goedgekeurd moet zijn zodra het de productie verlaat. Terwijl deze benadering een onmogelijke taak lijkt, kan het het gewenste effect hebben dat druk ontstaat om kwaliteitsproblemen en evaluatietechnieken aan te pakken.

Door het aanpakken van deze problemen, wordt de werkwijze omgevormd tot het inbouwen van kwaliteit in plaats van erop te moeten controleren. Dit is zeker niet eenvoudig, maar brengt meestal meer op vanwege een hogere productie, minder afval en een hogere aanvaarding van de producten op de markt. (Schaffer; 2000)

6) Tactisch management

Vaak is het tactisch management bij cross-docking het minst overwogen, maar belangrijkste deel van de implementatie van het concept. Door al het plannen, partnerschappen, toevoeging van materiaal en systemen vereist cross-docking nog steeds een hoog niveau van tactisch werken om te functioneren.

Bijvoorbeeld, hoe goed EDI ook mag werken, onvermijdbare problemen zullen steeds blijven opduiken. Op die momenten is het dan ook nodig dat iemand aan de leiding is voor het herverdelen van middelen en om de problemen heen te werken.

De nood aan tactisch management wordt echter vaak verwaarloosd. De functie wordt dan ook gewoon toegevoegd aan het werk van een reeds zwaar belaste eerste lijn supervisor. Om te verhinderen dat tactisch management een barrière wordt voor het succesvol implementeren van cross-docking, is het noodzakelijk dat de werkbelasting van de supervisors geëvalueerd wordt en indien nodig extra middelen voorzien worden. (Schaffer; 2000)

Ten slotte merken Waller et al. (2006) op dat in bepaalde gevallen, waarbij kleinhandelaars werken tegen de capaciteit van de distributiecentra, de vraag niet is of aan cross-docking gedaan moet worden maar juist welke artikelen aangevuld moeten worden via cross-docking. Dit vanwege het feit dat cross-docking, per definitie, cyclus en veiligheidsvoorraad uit het distributiecentrum weghaalt en zo extra fysieke capaciteit voor nieuwe producten toelaat.

H. Barrières

Zoals eerder aangehaald is een eerste barrière de ongebalanceerde verdeling van distributiekosten, voordelen en risico's. Zo moeten de fabrikanten bij de implementatie van cross-docking methoden meer investeren in hun infrastructuur, terwijl deze groep juist minder voordelen verkrijgt dan de kleinhandelaars en distributeurs. Deze ongelijke distributie van kosten en voordelen maken het moeilijker voor cross-docking om wijd aangenomen te worden. Andere problemen zijn de ongewildheid van handelspartners om informatie te delen, onvoldoende technologische capaciteiten van de partners om informatiedelen mogelijk te maken en eveneens een gebrek aan vertrouwen tussen handelspartners (Abdolvand en Kurnia; 2005).

Terreri (2001) geeft aan dat het meest probleemleverende obstakel de zogenaamde "bewilderment" factor is, dit houdt in dat niet geweten is waarmee moet begonnen worden. Daarom is panoramisch denken zeker hulpvol wanneer de diverse mogelijke componenten overwogen worden die vereist zijn voor een succesvolle cross-docking werking. Diverse consideraties moeten onderzocht worden, zoals welke producten bruikbaar zijn voor cross-docking en hoe een cross-docking operatie te creëren dat de effectieve en efficiënte collaboratie van alle deelnemers, informatiesystemen, materialen en transportnetwerken bevat.

Door de vele duizenden kleine details, is de enige wijze om succes te behalen een stap voor stap benadering te ontwikkelen tijdens de planning fase. Hiermee wordt dan een pilootprogramma opgericht met producten die eenvoudig te cross-docken zijn. Vervolgens moet het programma, gebaseerd op de geleerde lessen uit het pilootprogramma, over het hele systeem geïmplementeerd worden (Terreri; 2001).

Dit is dan ook één van de redenen waarom veel magazijnmanagers enkel aan cross-docking denken in plaats van het te gebruiken. Ze weten gewoon niet waar te beginnen of durven de sprong niet te wagen om verder te gaan zonder een bepaalde hoeveelheid voorraad die altijd klaarligt.

Specter (2004) merkt ook nog volgende vijf redenen op voor het beperkt verspreid zijn van cross-docking:

- Het onvermogen om succesvol de inbound leveringscyclus en de gesynchroniseerde tijdsbehoeften te managen/kalibreren

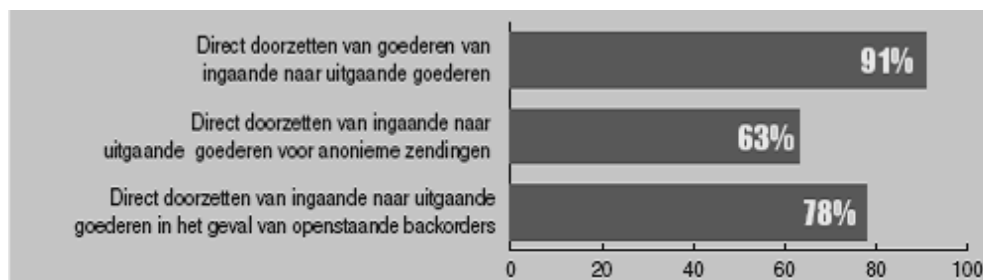
- De aankoop, transport en distributiesystemen zijn niet voldoende verbonden met de leveringsketen pijplijn
- De kans op falen moedigt ordervervulling via interne voorraden aan, m.a.w. de bedrijven zullen verkopen wat ze op voorraad hebben en niet wat zal aankomen
- De perceptie dat cross-docking iets is dat enkel de grote bedrijven kunnen doen
- De tendens om „one-size-fits-all” processen te ontwerpen, en zo alle mogelijkheden te negeren om agressief speciale situaties op een regelmatige basis te behandelen

I. Toekomst

De populariteit van cross-docking neemt snel toe. Dit blijkt onder meer uit een Europees onderzoek van Prologis en Capgemini van maart 2006. Zo verwachtte 79 procent van de ondervraagde verladers en 84 procent van de logistiek dienstverleners dat de cross-dock activiteiten de komende drie jaar zullen worden uitgebreid. Ter vergelijking: slechts 27 procent van de verladers en 40 procent van de logistiek dienstverleners verwacht dat de opslagactiviteiten toenemen (Lindert; 2006).

Dit werd eveneens bevestigd in een interview met Ghijselinck J., werkzaam bij "Groep H. Essers" te Genk. Zo waren daar de cross-dock activiteiten de laatste drie jaar gemiddeld met 25% gegroeid en vertegenwoordigt deze activiteit momenteel een omzet van ongeveer € 100 miljoen.

Dat cross-docking inmiddels gemeengoed is, blijkt ook uit het jaarlijkse onderzoek van IPL Consultants en Fraunhofer IML naar warehouse management systemen (WMS). Uit het onderzoek bleek dat ruim 90 procent van de 65 onderzochte systemen het doorzetten van goederen van ingaande naar uitgaande goederen ondersteunt (Lindert; 2006).



Figuur 3: WMS die een cross-dock strategie ondersteunen¹¹

¹¹ Lindert (2006)

Hoofdstuk III: Bespreking van beslissingssystemen

In dit deel zal dieper ingegaan worden op enkele optimalisatiemodellen die ontwikkeld zijn in het kader van cross-docking. Eerst zal een model besproken worden dat bepaalt of cross-docking wel voordeliger zal zijn dan de traditionele opslagmethoden. Vervolgens zullen enkele modellen met betrekking tot de optimalisatie van de diverse processen bij cross-docking besproken worden.

Keuze tussen cross-docking of een traditioneel magazijn

Voordat overgegaan zal worden tot crossdocking, moet natuurlijk eerst onderzocht worden of dit wel beter zal zijn. Daarom hebben Waller et al. (2006) een model ontwikkeld om de voorraadvordelen van cross-docking te voorspellen. Ook de marginale impact van diverse parameters op de voordelen van cross-docking wordt onderzocht. Hiervoor wordt de situatie bij cross-docking zonder een echelon voorraad¹² positie vergeleken met het traditioneel aanhouden van voorraad in een distributiecentrum. Het onderzoek vertrekt vanuit het standpunt dat ondernemingen traditioneel gebruik maken van een "echelon" voorraad positie voor het maken van de aanvulbeslissingen op het niveau van het distributiecentrum.

Concreet werden dus twee modellen opgesteld om zo de voor- en nadelen te kunnen berekenen. Het eerste model dat zonder cross-docking werkt gaat ervan uit dat één enkel distributiecentrum de verschillende kleinhandelaars bedient. Verder vullen alle winkels hun voorraad aan volgens een periodiek controlebeleid, rekening houdend met het interval tussen elke controle en een lead tijd met volledige backordering. Ook bij het distributiecentrum wordt verondersteld dat dit gebruik maakt van een periodiek controlebeleid voor het voorraadbeheer.

De vraag voor dit distributiecentrum komt voort uit de bestellingen van de winkels. Hierbij vormde het modelleren van de variatie van de vraag van een willekeurig aantal winkels bij een leverancier een uitdaging vanwege het "zweepslageffect". De variatie in de bestellingen van de winkels kan immers groter zijn dan de variatie in de collectief

¹² Echelon voorraad is de hoeveelheid voorraad in het distributiesysteem bij een gegeven niveau en verder in de keten, voor deze uit het systeem gaat naar een klant. In een kleinhandelomgeving betekent dit dat de distributiecentra aangevuld worden gebaseerd op de beschikbare voorraad in de winkels, de voorraad die onderweg is naar winkels, beschikbare voorraden in distributiecentra en bestelde goederen door distributiecentra zonder de backorder (Waller et al.; 2006).

bekeken verkopen vanwege de winkels indien het zweepstageffect aanwezig is. Daarom werden verschillende modellen opgesteld bij het modelleren:

- Perfect gebalanceerd bestellen
- Willekeurig bestellen

In het eerste geval met perfect gebalanceerd bestellen, gaan de winkels bij het distributiecentrum op zulke wijze bestellen dat het aantal winkels niet meer willekeurig is. In plaats daarvan wordt dit geselecteerd door de kleinhandelaar voor elke periode binnen de controlecyclus. De kleinhandelaar groepeerde winkels voor bestelperiodes zodat het aantal winkels die bestellen op eender welke dag in de controlecyclus constant is. Echter, zelfs indien de kleinhandelaars perfect gebalanceerd proberen te bestellen, is dit soms onmogelijk indien het ratio van het aantal winkels en het aantal perioden geen integere bekomen. In dat geval zal toch een zweepstageffect aanwezig zijn.

Daarnaast wordt ook het effect onderzocht indien het aantal bestellingen willekeurig is. Vanwege de willekeurige bestellingen, moet het distributiecentrum zijn voorraadbeheer aanpassen en vindt ook een zweepstageffect plaats. Hiertegenover staat dat dit geen effect heeft op het voorraadbeheer van een cross-dock.

Daarnaast werd ook een tweede model opgesteld dat wel gebruik maakt van cross-docking. Hierbij is dus de enige voorraad in het magazijn de pijplijnvoorraad of voorraad in-transit. Daardoor maakt de tijd in het distributiecentrum ook deel uit van de in-transit tijd. Bijgevolg moet bij de lead tijd ook rekening gehouden worden met de tijd die nodig is voor de goederen om vanaf de leveranciers doorheen het distributiecentrum te gaan. Bij cross-docking hebben de winkels dan ook een langere lead tijd, waardoor ook een grotere veiligheidsvoorraad noodzakelijk is om hetzelfde dienstverleningsniveau aan de klanten te verzekeren.

De totale lead tijd bij cross-docking bestaat dus uit de tijd die nodig is vanaf de bestelling om de goederen te laten vertrekken bij de leveranciers, doorheen de cross-dock te sturen en de transporttijd van de cross-dock naar de winkel. Bij een traditioneel distributiesysteem, daarentegen, bedraagt deze lead tijd enkel de benodigde tijd om de goederen van het distributiecentrum naar de winkel te brengen.

Voor beide modellen werd uiteindelijk een formule verkregen om de hoeveelheid voorraad te berekenen. Voor het eerste model bestaat dit uit de som van de voorraad in de winkels en het distributiecentrum terwijl dit bij het model met cross-docking enkel uit de veiligheidsvoorraad van de winkels bestaat.

De verhouding van beide formules geeft dan weer in welk geval de minste hoeveelheid voorraad aangehouden wordt. Zo wordt, door de langere lead tijd bij cross-docking, een grotere veiligheidsvoorraad voorzien in de winkels zelf. Echter, het is duurder om een eenheid in voorraad te houden in een winkel dan dat het opgeslagen zou worden in het distributiecentrum. Daarom is het onvoldoende om bij het berekenen van het relatieve voordeel van cross-docking enkel naar het aantal eenheden voorraad te kijken. Het is dus ook noodzakelijk om rekening te houden met het verschil in opslagkost. Daarom werden ook de opslagkosten toegevoegd aan beide modellen, waardoor bij de ratio van beide modellen ook rekening gehouden wordt met dit verschil in opslagkosten.

Vervolgens werd de invloed van enkele parameters onderzocht. Zo blijkt dat indien het aantal winkels stijgt, het relatief voordeel van cross-docking (asymptotisch) afneemt. De intuïtie hierachter is dat schaalvoordelen ontstaan door de opslag in een centraal magazijn die niet terug te vinden zijn bij de veiligheidsvoorraad die in de winkels ligt. Deze schaalvoordelen ontstaan door het feit dat indien meer winkels toegevoegd worden, de kans groter wordt dat stijgingen in de vraag van sommige winkels tenietgedaan worden door dalingen in de vraag vanwege andere winkels.

Daarnaast blijkt het "zweepslageffect" het relatief voordeel van cross-docking te doet stijgen. Zoals reeds eerder vermeld, zou dit komen doordat de kleinhandelaar, in een cross-docking situatie, niet direct geraakt wordt door het "zweepslageffect". In plaats daarvan laat cross-docking toe het probleem dat veroorzaakt wordt door het "zweepslageffect" stroomopwaarts te verplaatsen naar de leveranciers. Enkel voor grote kleinhandelaars blijven nog mogelijke gevolgen vanwege het "zweepslageffect" bestaan.

Andere bekomen conclusies zijn:

- Het relatief voordeel van cross-docking stijgt als de vraag op winkelniveau stijgt.
- Indien de beoogde in-voorraad waarschijnlijkheid bij de winkels stijgt, daalt het relatief voordeel van cross-docking.

- Indien de beoogde in-voorraad waarschijnlijkheid bij het distributiecentrum stijgt, stijgt ook het relatief voordeel van cross-docking.
- Indien de tijd tussen de aanvullingen in de winkels en deze in het distributiecentrum stijgt, stijgt het relatief voordeel van cross-docking.
- Indien de lead tijd om doorheen het distributiecentrum te gaan stijgt, daalt het relatief voordeel van cross-docking.

Tenslotte werden nog enkele beperkingen van het onderzoek aangegeven. Zo werd uitgegaan van een voorraadsysteem gebaseerd op periodieke controles. Daardoor moet ook nog onderzoek gebeuren naar de impact van andere aanvulwijzen. Ook moeten modellen ontwikkeld worden die de impact van cross-docking op de voorraadniveaus schat. Een andere beperking is de veronderstelling van volledige "backordering", hetgeen aangepast kan worden door verloren verkopen toe te laten.

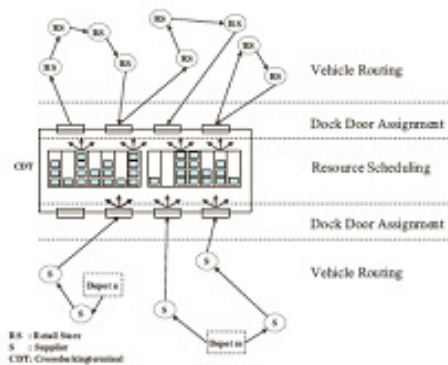
Totaal optimalisatiemodel

Indien voor cross-docking gekozen wordt zal het gehele proces zo efficiënt en effectief mogelijk moeten werken. Zo beschrijven Stickel en Furmans (2005) een mixed-integer model¹³ voor een gecentraliseerd optimaal controlebeleid (bijvoorbeeld via een 3PL¹⁴) voor cross-docking faciliteiten. Hierbij wordt rekening gehouden met het vervoer van goederen naar de cross-docking terminal, de transfers binnen de terminal en het transport naar de klant.

De logistieke problemen die opgelost moeten worden door de 3PL om aan minimale kosten te kunnen werken, worden door figuur 4 geïllustreerd. Hieruit blijkt dat om tegen minimale kosten te werken, drie verschillende optimalisatieproblemen simultaan bekeken dienen te worden.

¹³ Een mixed-integer model is een model waarbij niet alle variabelen integer moeten zijn.

¹⁴ 3rd party logistics provider: Een 3pl'er voert voor een verlader de logistiek (transport, opslag, overslag en zonodig waarde toevoegende logistieke activiteiten zoals inpakken, assembleren en retourlogistiek) uit.



Figuur 4: De verschillende coördinatieproblemen¹⁵

Een eerste probleem is het bepalen van de optimale route voor het ophalen van de goederen bij de leveranciers. Vermits deze leveranciers verspreid kunnen liggen over een groot geografisch gebied, kunnen de verschillende routes ook vanuit meer dan één depot vertrekken. Een analoog probleem verschijnt bij de distributie van de producten vanuit de cross-dock terminal naar de detailhandelaren.

Een ander probleem is dat indien vrachtwagens arriveren of vertrekken van de cross-docking terminal, deze toegewezen moeten worden aan een strip (inbound) of stack (outbound) poort. Dit beïnvloedt ook het derde probleem, namelijk de planning van de middelen in de terminal. Omdat het meeste werk manueel gebeurt, is de planning van deze middelen hoofdzakelijk gefocust op de personeelsplanning.

Stickel en Furmans (2005) beschrijven echter niet het volledige optimalisatie model. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt daarvoor verwezen naar Stickel en Metzelaers (2005). Het model dat Stickel en Furmans (2005) voorstellen, bestaat uit de volgende componenten:

- vaste en variabele kosten van de outbound/inbound voertuigen
- wachtkosten voor outbound/inbound voertuigen aan de terminal
- boetes wegens een te late levering aan de klant
- behandelingskosten voor outbound/inbound voertuigen
- voorraadkosten voor het bufferen van producten
- transportkosten in de terminal

¹⁵ Stickel en Furmans (2005)

Aan de hand van een branch-and-bound algoritme (zie bijlage 1) wordt vervolgens tot een exacte oplossing gekomen. Hierbij werd het model ook getest aan de hand van diverse configuraties door het aantal leveranciers en detailhandelaars te laten variëren. De resultaten hiervan zijn in tabel 3 weergegeven. Het is duidelijk dat het voorgestelde model enkel bruikbaar is bij kleine gevallen. Immers, enkel cross-docking terminals tot 5 leveranciers en 5 detailhandelaren kunnen in een aanvaardbare tijd opgelost worden.

Tabel 3: Looptijd voor verschillende probleemgroottes¹⁶

Aantal winkels	Aantal leveranciers			
	2	3	4	5
2	1 s	5,4 s	70,2 s	3,4 min
3	1,3 s	11,03 s	87,1 min	4,5 min
4	3,3 s	12,38 s	2,3 min	74,3 min
5	10,2 min	59,7 min	28,4 u	8 d
6	3,2 min	6,3 u	18,8 u	≥ 10 d
7	26,4 min	2,9 d	19,9 u	≥ 10 d

Daarom hebben Stickel en Furmans (2005) het model in twee componenten opgesplitst welke sequentieel opgelost moeten worden. Hierdoor wordt de oplossing veel sneller bereikt maar ontbreekt de zekerheid dat de optimale oplossing verworven wordt.

Bij het nieuwe model worden, in de eerste component, de routes geoptimaliseerd. Hierbij worden de vrachtwagens nog niet toegewezen aan een bepaalde poort maar wel aan een bepaald tijdsvenster. In de tweede component worden dan de interne processen geoptimaliseerd, rekening houdend met het tijdsvenster uit de vorige stap. Dit gebeurt door de arriverende en vertrekkende vrachtwagens toe te wijzen aan een specifieke poort. Voor de kleine cross-docking terminals is de deviatie van het optimum natuurlijk verwaarloosbaar. Echter, voor grotere cross-docking terminals met meerdere poorten, mag deze opsplitsing mogelijk niet meer gemaakt worden. In tabel 4 staan de verbeterde looptijden die significant gedaald blijken te zijn waardoor ook grotere gevallen oplosbaar worden.

¹⁶ Stickel en Furmans (2005)

Tabel 4: Looptijd voor verschillende probleemgroottes voor het opgesplitste model¹⁷

Aantal winkels	Aantal leveranciers			
	2	3	4	5
2	0,3 s	1,5 s	2,5 s	13,1 s
3	0,3 s	2,3 s	4,6 s	27,3 s
4	0,8 s	6,2 s	31,7 s	3,7 min
5	9,3 s	13,3 s	9,2 min	44,9 min
6	64 s	2,5 min	14,2 min	1,5 u
7	6,4 min	13,7 min	1,1 u	2,7 u

De voorgestelde modellen zijn onderdeel van een breder onderzoek dat handelt over het plan- en controlebeleid van transshipment faciliteiten. Enerzijds, wordt een gecentraliseerde plan- en controlebenadering, zoals voorgesteld, nagestreefd. Bij deze benadering wordt verondersteld dat alle informatie die relevant is voor de beslissingen beschikbaar is en dat een centrale instantie, bijvoorbeeld een 3PL, de nodige beslissingsmacht heeft. In deze context wordt het model momenteel verder ontwikkeld, waarbij vooral heuristische methoden worden onderzocht.

Daarnaast wordt ook de gedecentraliseerde benadering onderzocht. Hierbij is de plannings- en beslissingsmacht niet in de handen van één enkele entiteit. Bijgevolg moeten gedecentraliseerde planoplossingen gecoördineerd worden om zo een kosteneffectief proces te verkrijgen. Beide benaderingen worden beschreven door Stickel (2006).

Stickel en Furmans (2005) bekijken alle problemen simultaan. Echter, een groot aantal andere publicaties bekijken elk probleem individueel en proberen ze niet simultaan op te lossen. Stickel en Furmans (2005) verwijzen zo naar Savelsberg en Sol (1995) en Toth en Vigo (2002) voor het routeprobleem; naar Tsui and Chang (1992) en Bermudez en Cole (2001) met betrekking tot de toewijzingsproblemen van vrachtwagens aan poorten. Daarnaast toont Gue (1999) aan dat de toewijzing in de cross-docking terminals ook de arbeidskosten voor de interne behandeling beïnvloedt. De interne processen zijn gemodelleerd door Li et al. (2004), die een aangepast job-shop-planningsprobleem oplossen met een genetisch algoritme. (Stickel en Furmans; 2005)

Vervolgens zullen nu enkele publicaties besproken worden met betrekking tot de optimalisatie van transport- en opslagkosten, interne planning en de toewijzing van de vrachtwagens aan poorten.

¹⁷ Stickel en Furmans (2005)

A. Minimalisatie van de transport- en opslagkosten

Om cross-docking zo efficiënt mogelijk toe te passen, zullen de transport- en opslagkosten zo laag mogelijk gehouden moeten worden. Hiervoor zal, indien meerdere centra beschikbaar zijn, bepaald moeten worden welke cross-dock centra gebruikt gaan worden voor de transporten. Daarnaast moet ook onderzocht worden hoeveel vachtwagens het transport zullen verzorgen en welke route ze gaan volgen. Deze routes moet dan zowel bepaald worden voor het ophalen van de goederen als voor de uiteindelijke levering bij de klant.

De eerste zes modellen, die behandeld gaan worden, dienen om te bepalen welke cross-dock centra best gebruikt kunnen worden voor de transporten. De modellen verschillen onderling echter in de gebruikte strategie en de vereenvoudigingen die toegepast worden. Zo wordt cross-docking besproken indien gewerkt wordt volgens een vast, flexibel of een lading gedreven systeem. Daarnaast vertrekken sommige modellen van een verwachte vraag, waardoor kleine voorraden kunnen ontstaan, en andere van de werkelijke vraag. Uiteindelijk wordt ook een optimalisatiemodel voor de routeplanning, wat betreft het ophalen en leveren van de goederen, voorgesteld.

Cross-docking netwerken

De studies betreffende cross-docking beperken zich vaak tot netwerken met slechts één enkele cross-dock. Chen et al (2006) bespreken daarentegen een netwerk bestaande uit meerdere cross-dock centra. Bijgevolg moet voor de verspreiding van de producten ook een keuze gemaakt worden door welke centra de goederen moeten gaan. De leveranciers leveren dan aan deze cross-dock en van hieruit gaan de producten verder naar hun bestemming. Dit moet allemaal binnen de opgelegde tijdsvensters gebeuren. Voor het bepalen van de gebruikte cross-dock centra tijdens het transport, houden Chen et al (2006) rekening met de transportkosten, tijdsvensters, capaciteit van de cross-dock en de behandelingskosten. De behandelingskosten worden hierbij gebruikt als strafmiddel voor mogelijke vertragingen. Op deze wijze wordt de tussentijdse opslag geminimaliseerd. Het doel is uiteindelijk een minimale kosten distributieplan te bekomen door het minimaliseren van de transport- en voorraadkosten. Via het model wordt dan de keuze van cross-dock en de lever- of afhaaltijden verkregen.

Om het model praktisch bruikbaar te maken, worden enkele vereenvoudigingen toegepast. Zo wordt uitgegaan van de "verwachte" vraag in plaats van de "werkelijke". Bijgevolg, zal een kleine voorraad gevormd worden in de cross-dock. Bovendien wordt verondersteld dat de leveranciers meer leveren dan hetgeen gevraagd wordt. Dit gebeurt om te vermijden dat bepaalde goederen niet meer beschikbaar zouden zijn. Een andere restrictie is dat elke afhaling beperkt is tot slechts één product. Echter, in realiteit zullen klanten bestellingen voor meerdere types van producten en hoeveelheden plaatsen en deze in één keer komen ophalen.

Vanwege de complexiteit van het probleem falen sommige integrale programmeer (IP) methoden wanneer op grote schaal gewerkt wordt. Chen et al (2006) lossen daarom het probleem op via lokale zoektechnieken met het doel een goede oplossing te verkrijgen binnen een redelijke berekeningstijd. Aan de hand van een "greedy"¹⁸ methode worden dan de initiële oplossingen bekomen. Vervolgens wordt dan gebruik gemaakt van simulated annealing (bijlage 2) en tabu search (bijlage 3) om tot een oplossing te komen.

PLOT ontwerpsysteem

In tegenstelling tot de vorige methode werken Jayaraman en Ross (2003) met een twee fase netwerk planmethode. Ze beschrijven een PLOT (Productie, Logistiek, Outbound, Transport) ontwerpsysteem. Het systeem behandelt een klasse ontwerpproblemen bij distributienetwerken die gekenmerkt worden door meerdere productfamilies, een centrale productieplaats, meerdere distributie- en cross-docking centra, en kleinhandelaars dewelke een aantal eenheden van verschillende goederen vragen.

Via de voorgestelde werkwijze wordt niet enkel beslist welke cross-dock terminals gebruikt gaan worden, maar in een eerste fase ook welke geopend zullen worden. Zo is de eerste fase, ook wel planstage genoemd, een strategisch model dat toegepast moet worden telkens wanneer het nodig is om het distributienetwerkontwerp te updaten. Hierbij wordt de "beste" set van distributiecentra en cross-docks die gebruikt moeten worden geselecteerd. Het model maakt de strategische beslissing welke magazijnen en

¹⁸ De "greedy" methode, ook wel de "inhalige" methode genoemd, is gebaseerd op het behalen van korte termijn successen. Hierbij wordt dus telkens in elke stage van de oplossingsmethode de lokaal optimale keuze gemaakt in de hoop zo het globaal optimum te vinden. Het bekomen eindresultaat kan echter ver van het optimale punt liggen.

cross-docks moeten functioneren in een gegeven tijdsperiode. Dit is een belangrijke beslissing voor het bedrijf omdat het mogelijk onomkeerbare gevolgen op het bedrijf als geheel kan hebben.

De tweede fase bestaat uit de uitvoerende stage dat een operationeel gebaseerd beslissingsnemend proces omvat. Hiermee worden operationele beslissingen gemaakt die handelen over de werking van de faciliteiten eenmaal deze aanwezig zijn. Dit model zal toegepast worden eenmaal het vereiste aantal magazijnen en cross-dock centra geopend zijn, hetgeen dus via het vorige model verkregen werd. Het model beslist de vereiste hoeveelheid van productfamilies die getransporteerd moeten worden van de fabriek naar de distributiecentra. Vanuit de distributiecentra gaan de goederen naar de cross-dock centra, om van hieruit aan de diverse winkels geleverd te worden.

Het onderscheid hier is dat de reconfiguratie van de productstromen benadrukt wordt, gegeven een set van reeds werkende faciliteiten, en niet noodzakelijk een volledig herontwerp en verplaatsing van alle faciliteiten en productstromen in het systeem gebeurt. Het doel is niet de optimale mathematische oplossing te leveren over het algemene locatiesysteem van de faciliteiten. Het model moet eerder de uitvoerproblemen efficiënt oplossen, gegeven de strategische beslissingen die reeds gemaakt werden in de eerste fase.

Deze modellen werden gemotiveerd aan de hand van de werkelijke werkomstandigheden bij Walgreens, een grote kleinhandelsoperatie in Zuid-Texas. De snel veranderende demografie maakte het voor Walgreens mogelijk om extra winkels te openen als respons op de marktgroei. Echter, het kleinhandelssegment is zeer competitief met zeer weinig loyaliteit vanwege de consument. Daardoor staan winstmarges voortdurend onder druk en worden efficiënte reacties op de klantenvraag verwacht. De marktgroei en Walgreens beslissing om de operaties uit te breiden, deed de druk, om hun kleinhandelszaken aan te vullen, op de bestaande cross-dock centra stijgen. Hierdoor gebeurden onvolledige leveringen, stockouts, overstocked, enz.. Samengevat betekent dit dat cross-docking al enkele jaren actief toegepast werd, maar Walgreens moest nieuwe tactieken ontwikkelen om de productstroom van de fabrikant naar de consument te beheren.

De geografische bedieningsregio voor deze cross-dock operatie omvatte 115 plaatsen waarvan de meeste punten in Zuidoost Texas lagen maar in ook de metropool Dallas, Austin, Houston en San Antonio en een paar plaatsen in Baton Rouge en New Orleans, LA. Op een typische dag, verzonden producenten de goederen in bulk naar verschillende regionale cross-docks van het bedrijf. De lokale vraagpatronen en de productcategorie bepaalde het aanvulschema. De verkopen van de kleinhandelaars en de bestelpunten werden opgevolgd, aan de hand van nieuwe technologieën zoals EDI, ERP en ECR, door de leden van de toeleveringsketen. Het doel was hiermee de toepasbaarheid van heuristische procedures te bepalen voor het analyseren van alternatieve ontwerpen van cross-docking systemen.

In de eerste fase van het model, minimaliseren Jayaraman en Ross (2003) drie types van kosten. Het eerste type zijn de vaste kosten die geassocieerd worden met de werking van geopende magazijnen en cross-docks. Het tweede type zijn de kosten voor de transporten van de producten van het magazijn naar de cross-dock. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de draagkosten, zoals kosten voor verzekering en materiaal, maar dit kan ook voorraadkosten inhouden en transportkosten om meerdere producten aan klanten te leveren vanuit de cross-dock.

De doelfunctie minimaliseert op deze wijze de vaste kosten om magazijnen en cross-docks te openen, de transportkosten van het magazijn naar de cross-dock centra en de kosten om de producten via cross-docking te leveren om zo aan de vraag van klanten te voldoen.

Ook bij de tweede fase wordt gebruik gemaakt van drie kostentypes, namelijk transportkosten, transshipmentkosten en distributiekosten. De transportkosten ontstaan vanwege het transport van de producten naar de magazijnen. Daarnaast worden de transshipment kosten veroorzaakt door het transport van de producten van het magazijn naar de cross-dock. De distributiekosten ontstaan omwille van het transport van de producten van de cross-dock centra naar de klantzones. Ook deze kosten worden vervolgens geminimaliseerd.

Elke klantzone krijgt iedere keer één cross-dock centrum toegewezen, terwijl de cross-dock centra toegewezen werden aan één enkel magazijn. Bij het onderzoek werd

gewerkt met de assumptie dat de capaciteit van alle potentiële faciliteiten de vraag vanwege klanten overschreed. Daardoor, is geen gebruik gemaakt moeten worden van suboptimale oplossingen in dit enige bron capaciteitsmodel. In de tweede fase is het model minder beperkend en verzwakt het de assumptie dat de cross-dock centra aan slechts één enkel magazijn toegewezen moeten worden.

Indien de PLOT benadering gebruikt gaat worden, moet dus begonnen worden met het oplossen van het eerste model. De resultaten hiervan worden dan gebruikt voor de variabelen van het tweede model. Dit bleek eenvoudig voor kleine problemen bestaande uit twee tot drie cross-docks, drie magazijnen en vijftien klantzones. Echter, indien het aantal producten en het aantal cross-docks en magazijnen een praktische grootte bereikte, daalde de bruikbaarheid sterk. Daarom werden verschillende benaderingen uitgetest waaronder decompositie gebaseerde procedures. Uiteindelijk werd de simulated annealing (SA) procedure toegepast omwille van de mogelijkheid om hiermee de strategische en de operationele planningsproblemen tot één enkel groot probleem te combineren. De studie doet zo twee bijdragen aan de SA literatuur. Ten eerste, wordt de breedte van de toepassingen uitgebreid door de studie van een nieuw gecombineerd probleem dat cross-docking omvat. Ten tweede, evalueert het ook systematisch de rekenkundige prestaties bij een verschillende probleemszenario's.

Om de prestaties van de gebruikte simulated annealing heuristiek met betrekking tot het cross-docking probleem te evalueren, werden verschillende problemen ontwikkeld. Zo werden de waarden van verschillende probleem- en heuristische parameters gevarieerd. Probleemparameters worden beschreven door het aantal magazijnen en cross-docks, het aantal klantzones en producttypes en de structuur van de werkingskosten. De heuristische parameters hebben betrekking tot de koelsnelheid, α ¹⁹, die gebruikt wordt bij simulated annealing.

De prestatie van de heuristiek werd gemeten via de kwaliteit van de oplossing, de zoekintensiteit en de benodigde berekeningstijd. De oplossingskwaliteit werd gemeten door de deviatie te bekijken van de heuristische oplossing ten op zichte van de

¹⁹ De zoektocht bij simulated annealing naar de laagste kost oplossing wordt geleid door een parameter gekend als de "temperatuur", T , en de snelheid waarmee deze systematisch verlaagd wordt, α genoemd. Zowel α als de temperatuur bepalen de aanvaarding van inferieure oplossingen.

oplossing verkregen via commerciële software zoals LINGO. Daarnaast werden de zoekintensiteit en de duur gemeten door het bekijken van het totale aantal vereiste toewijzingscyclussen, het aantal verstoringen of wissels van cross-docks en de verwerkingstijd door de computer.

Uit de vergelijking van de optimale oplossing verkregen via LINGO met de oplossing van de heuristische procedure, bleek dat de oplossingskloof (het verschil tussen de oplossing van de heuristiek en de optimale oplossing) gemiddeld kleiner dan 4% was voor alle datasets. Echter, de benodigde berekeningstijd voor de computer om de optimale oplossing via LINGO te vinden was 300 tot 400 keer trager in vergelijking met de heuristische procedure. De simulated annealing heuristiek leverde soms zeer efficiënte oplossingen in minder dan één seconde op, ook wanneer de dimensies van de input gevarieerd werden. Bij tragere annealing snelheden werden betere resultaten verworven. In enkele gevallen, verbeterde de oplossingskost bij een trage annealing met 5-10% ten opzichte van snellere annealing voor identieke problemen. Hierbij was wel een afluïl met de benodigde berekeningstijd.

Cross-docking netwerk met flexibele schema's

Lim et al (2004) beschrijven eveneens een cross-docking netwerk. Echter, voor de planning van de transporten wordt hierbij gebruik gemaakt van flexibele schema's²⁰ en met de ladinggrootte wordt omgegaan aan de hand van meerdere zendingen. Het voorgestelde optimaliseringmodel verschilt dan ook op een aantal punten met de vorige. Zo worden hier vraag en aanbod wel aan elkaar gelijk gesteld. Daarnaast wordt ook een onderscheid gemaakt tussen "meervoudig" en "enkel" vervoer. In het eerste geval kan de vracht via meerdere transporten binnen een zelfde tijdsvenster verzonden of geleverd worden, terwijl in het tweede geval de volledige levering in één keer dient te gebeuren. Deze laatste methode wordt soms verkozen door de vervoerder vermits dit minder vaste en opzetkosten veroorzaakt met betrekking tot het vervoer via één of meer vervoersagenten.

Verder wordt ook een methode voorgesteld om vervoerders te bestraffen via boetes indien ze buiten het overeengekomen tijdsvenster hun opdracht volbrengen. Een

²⁰ Bij flexibele schema's liggen de begintijden nog niet vast. In het algemeen willen de leveranciers de flexibiliteit om op elk moment te kunnen verzenden binnen de werktijden.

oplossing voor het model wordt bekomen aan de hand van polynomiale tijd (zie bijlage 4) algoritmes.

Cross-docking netwerk met vaste schema's

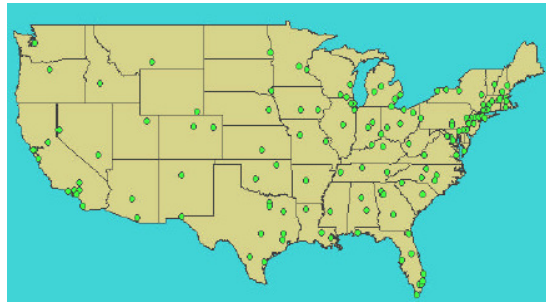
Daarnaast hebben Donaldson et al (1998) een cross-docking netwerkmodel ontwikkeld met betrekking tot het trucknetwerk van het "USPS²¹ First Class Mail" transportsysteem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een "schema gedreven" cross-docking netwerk. Dit betekent dat de voertuigen verstuurd worden op basis van een vast schema.

De problemen die overwogen worden, zijn het bepalen of de route van vertrek naar bestemming direct gaat of eerst via een cross-dock moet gebeuren en hoeveel voertuigen hiervoor ingezet dienen te worden. Om tot een planning te komen, wordt gebruik gemaakt van een integer model waarop vervolgens enkele relaxaties toegepast worden om zo tot een praktische oplossing te komen.

Het USPS netwerk bestaat uit 148 distributiecentra (figuur 5) die lokale postkantoren bedienen. Elke nacht worden transporten uitgevoerd van de lokale postkantoren naar de distributiecentra. Daar wordt de post gesorteerd en ingepakt in eenheidsladingen met als bestemming een ander distributiecentra waar ze de volgende dag naar verzonden worden. Bij aankomst in het andere distributiecentrum worden de ladingen gesorteerd en de pakketten naar de lokale postkantoren verstuurd.

Voor het transport tussen de distributiecentra kan gebruikt gemaakt worden van cross-dock centra om zo voordelen uit consolidatie te kunnen verkrijgen. Dit kan echter alleen indien hierdoor de levertijd haalbaar blijft en het over niet volledige truckladingen gaat. Indien dit niet mogelijk is, wordt gebruik gemaakt van een direct transport. Ook bij volledige truckladingen zal het transport tussen de distributiecentra rechtstreeks gebeuren.

²¹ US Postal Service



Figuur 5: USPS geautomatiseerde distributiecentra²²

Het verkregen model is moeilijk op te lossen voor branch and bound algoritmes. De reden hiervoor is dat de vrachtwagen variabelen bijna nooit integer zijn bij de LP relaxatie. Wanneer de beperking van integere variabelen voor de truckvariabelen afgezwakt wordt, ontbreekt de reden voor het LP om de goederenstroom te consolideren via de cross-dock centra. De kost van een gedeeltelijk geladen truck komt dan immers overeen met het beladen deel van de truck. Een halfvolle truck zal op deze wijze slechts de helft kosten van een volgeladen truck. Uiteindelijk bleek deze werkwijze ook te lang te duren of werd geen oplossing bekomen.

Als alternatief wordt de "Bender's decompositie"²³ benadering toegepast op het model. Hierbij wordt het originele probleem opgesplitst in een hoofdprobleem en een subprobleem. Het hoofdprobleem relaxeert gewoonlijk enkele zware beperkingen van de originele formulering, terwijl het subprobleem op overtredingen van deze gerelaxeerde beperkingen controleert. Indien een overtreding optreedt, wordt een "Bender's cut" gegenereerd. Dit is een beperking, afgeleid uit het duale subprobleem, die minstens de huidige oplossing verwerpt en aan het hoofdprobleem wordt toegevoegd. Dit proces blijft doorgaan tot geen overtredingen van de gerelaxeerde beperkingen meer plaatsvinden. Deze werkwijze bleek echter niet efficiënt te zijn. Zelfs de branch and bound algoritmes bleken veel sneller te werken.

Daarom hebben Donaldson et al (1998) ook de integraliteitsbeperking gerelaxeerd voor de verbindingen van het vertrekpunt naar de cross-dock ofwel van de cross-dock naar de bestemming. Hierdoor verdwijnt echter de garantie dat een optimale oplossing

²² Donaldson et al (1998)

²³ Voor een uitgebreide beschrijving van de methode wordt verwezen naar Hooker en Ottosson (2003).

verkregen wordt, maar bij de controles bleek de kloof veeleer klein te zijn. Uiteindelijk moet dus gekozen worden tussen de kwaliteit en de snelheid van de oplossing.

Cross-docking netwerk bij een lading gedreven systeem

Naast transporten volgens een vast of flexibel schema, kunnen de transporten ook volgens een lading gedreven systeem werken. Hierbij vindt het vervoer plaats eenmaal voldoende producten voor een bepaald transport wachten. Zo bestudeerden Ratliff et al (2006) het Ford Motor Company's North American automobiel leveringssysteem, dat volgens dit principe werkt en later dieper op wordt ingegaan.

Voor het ontwerp van een "lading gedreven" cross-dock netwerk moeten eerst twee basisbeslissingen genomen worden: de locatie beslissing, wat handelt over het aantal en de positionering van de cross-docks, en de transportbeslissingen met betrekking tot de wijze waarop de doorstroming doorheen de cross-dock centra moet gebeuren. Het doel was dan ook het ideaal aantal en de locaties van de cross-dock centra in het ladinggedreven systeem te bepalen en welke weg de transporten moesten volgen. Daarvoor werd gebruik gemaakt van een gemengd-integer lineair programmeer model. Gegeven een aantal potentiële plaatsen voor cross-docking centra, bepaalt het model welke centra open zouden moeten zijn en geeft de route van het transport afkomstig van elke fabriek naar elk spoorwegcentrum om zo de gemiddelde termijn te minimaliseren. Op deze wijze wordt het potentieel van het concept van de cross-dock centra in termen van sneller transportmogelijkheden en verminderde voorraad geanalyseerd.

Om het belang van het onderzoek aan te halen, bespreken Ratliff et al (2006) de resultaten die Ford behaalde door hun onderzoek. Zo deed Ford in 1996 een pilootonderzoek met 5 fabrieken om het potentieel van speciale cross-docking centra, mengcentra genoemd, in het spoornetwerk te onderzoeken. Voordien werden nieuw geassembleerde wagens in "load lanes" bij de fabriek geparkeerd volgens het spoorwegcentrum dat ze als bestemming hadden. Vanaf het ogenblik dat een voldoende aantal voertuigen gereed stonden voor één bepaald spoorwegcentrum werden de voertuigen in een treinwagon geladen. Elke fabriek stuurde dan zijn eigen treinwagons naar elk spoorwegcentra, ook wel "ramps" genoemd, via het zogenaamde "losse wagenetwerk". Vanuit deze spoorwegcentra werden de wagens aan de hand van trucks naar de verdelers getransporteerd.

In een poging om de gemiddelde levertijd te doen dalen, introduceerde Ford een nieuw mengcentrum in Kansas City, Missouri en leidde alle wagens van de 5 fabrieken doorheen dit mengcentrum naar de 15 spoorwegcentra die ze als bestemming hadden. In het mengcentrum worden de wagens uit de aankomende wagons geladen in "load lanes" volgens het spoorwegcentrum dat ze als bestemming hebben. Indien voldoende voertuigen gereed staan, worden ze op een lege wagon geladen en verzonden. De overblijvende voertuigen blijven bij het mengcentrum wachten. Het mengcentrum functioneert hier dus als een lading gedreven cross-dock.

Het verzenden doorheen dergelijk mengcentrum kan op twee wijzen de transporttijd en transportkosten doen dalen:

- Snellere transportmiddelen: de geconsolideerde zendingen van elke fabriek naar één enkel mengcentrum kunnen een voldoende volume genereren om snellere eenheidstreinen te gaan gebruiken. Deze kunnen direct van de fabriek naar de spoorwegcentra bewegen, en de wisselstations overslaan. Een mengcentrum dat verschillende fabrieken bedient, kan zo zendingen voor spoorwegcentra consolideren, wat het gebruik van deze eenheidstreinen voor outbound zendingen vergemakkelijkt.
- Verminderde wachttijd: omdat bepaalde toeleveringssnelheden naar sommige spoorwegcentra (bijvoorbeeld Laurel, Montana) veel lager zijn dan de capaciteit van een treinwagon, zullen wagens die bestemd zijn voor dit spoorwegcentrum verschillende dagen moeten wachten voordat een volledige lading verzamelt is. De consolidatie van zendingen doorheen mengcentra kunnen deze vertragingen verminderen. Daarnaast beïnvloedt het aantal voertuigen dat wacht bij de fabriek de gemiddelde levertijd en de grootte van het fabrieksterrein. Bovendien liggen de toeleveranciers van de autofabrikanten rondom de fabriek, waardoor nog maar weinig grond beschikbaar is, dewelke bovendien duur is. Indien het aantal wachtende voertuigen bij de fabriek verminderd wordt, kan het terrein dus ook beter gebruikt worden.

In het pilootonderzoek moest het mengcentrum de totale voorraad bij de 5 fabrikanten van meer dan 500 tot onder 150 wagens brengen (35 bij de fabrieken en ongeveer 105 bij het mengcentrum). De verwachte voorraadreductie bij de fabrieken betekende ongeveer een besparing van \$7 miljoen. Dit rechtvaardigde echter het prijskaartje van \$75 miljoen voor de constructie van het mengcentrum niet. De echte motivatie voor het

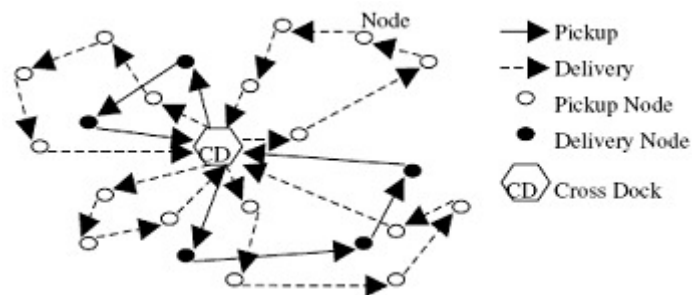
mengcentrum kwam van de verwachte reductie in het gemiddeld aantal dagen dat nodig was om de voertuigen te leveren. Zo rapporteerde Ford dat het ongeveer 4,8 miljoen voertuigen in Noord Amerika verkocht in 1999. Bij een gemiddelde waarde van ongeveer \$20.000 per voertuig, betekende elke dag reductie van de gemiddelde leveringstijd ongeveer een besparing van \$260 miljoen in pijplijnvoorraad.

Routeplanning bij cross-docking

De hiervoor besproken studies bekeken het probleem van het ontwerp van het netwerk, hetgeen onder strategische planning valt. Operationele problemen zoals gedetailleerde "vehicle routing" planning met cross-docks werd nog niet behandeld. Zo hebben Lee et al (2006) een model ontwikkeld dat bij cross-docking rekening houdt met het "vehicle routing scheduling" probleem om zo de totale kosten te minimaliseren.

Volgens Lee et al (2006) zijn twee sleutelementen bij cross-docking "simultane aankomst" en "consolidatie". Indien niet alle voertuigen simultaan aankomen bij de cross-dock, moeten sommige voertuigen wachten. Daarom moet de timing voor alle transportmiddelen in het ophaalproces gesynchroniseerd worden om de wachttijd te verminderen. De producten worden volgens bestemming geclassificeerd en op elk voertuig geladen in het cross-dock, en dus geconsolideerd. Vervolgens verlaten de voertuigen de cross-dock om hun producten te verdelen over de bestemmingen.

Voor het onderzoek gaan Lee et al (2006) uit van een distributienetwerk met één cross-dock die een bepaald gebied behandelt. Bovendien, wordt verondersteld dat elk voertuig toegewezen is aan deze specifieke cross-dock, waarbij opgesplitste leveringen niet toegelaten zijn. Dit wordt in de volgende figuur getoond.

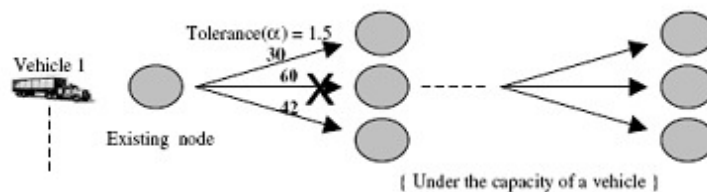


Figuur 6: Voorbeeld van een cross-dock netwerk

Het doel van het onderzoek was het bepalen van het aantal voertuigen, de beste route, het schema en de aankomsttijd van elk voertuig bij de cross-dock om zo de transportkosten te minimaliseren binnen een bepaalde planningshorizon. De doelfunctie van het bekomen model bestaat dan ook uit de minimalisatie van de transportkost en de vaste kost van de voertuigen. Om uiteindelijk tot een goede oplossing te komen binnen een redelijke tijd, werd gebruik gemaakt van een "tabu search" algoritme.

De initiële oplossing van het voorgestelde algoritme werd gegenereerd volgens de procedure in figuur 7. Voor het eerste voertuig worden alle beschikbare routes vanuit de huidige node onderzocht. Vervolgens wordt een lijst met kandidaten opgesteld voor alle routes waarvoor het ratio van de transportkost over de minimale transportkost kleiner is dan de tolerantie α . Vervolgens wordt een willekeurig gekozen route en zijn verbonden node gekozen en nadien toegewezen aan het voertuig. Dit wordt zo voortgedaan tot de capaciteit van het voertuig bereikt wordt, en dezelfde procedure wordt voor alle overblijvende voertuigen zo toegepast.

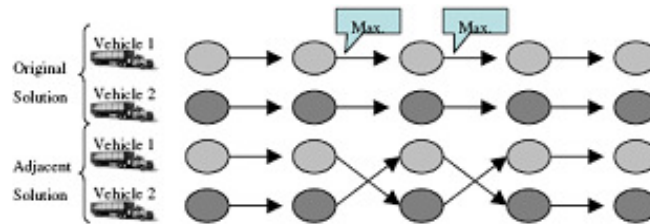
Zo beschrijft figuur 7 de procedure voor de toewijzing van de routes aan voertuig 1 waar de tolerantie gelijk aan 1,5 gesteld wordt. Vanuit de bestaande node, worden drie beschikbare nodes gevonden. Hiervan worden twee routes gekozen omdat hun ratio van de transportkost over de minimale transportkost (30) lager is dan de tolerantie van 1,5. Vervolgens, wordt een willekeurig geselecteerde node van de twee routes toegewezen aan voertuig 1.



Figuur 7: Voorbeeld van constructie van initiële oplossing

Figuur 8 toont een voorbeeld van de generatie van een aangrenzende oplossing. Voor voertuig 1, werden twee routes gevonden waarvan de transportkost tussen de twee nodes hoger is dan voor de andere routes. Vervolgens, worden de twee geselecteerde routes uitgewisseld met de corresponderende routes van een willekeurig geselecteerd voertuig 2. Indien, er geen corresponderende routes zijn of additionele voertuig

capaciteit nodig is, wordt de sequentie van de twee routes veranderd. Dit gebeurt vervolgens bij alle voertuigen.



Figuur 8: Voorbeeld van het genereren van een aangrenzende oplossing

Via enumeratie²⁴ werd dan de optimale oplossing bepaald. Deze methode vereist natuurlijk veel meer tijd dan de heuristische algoritmes. Voor het gebruiksgemak werd de tijd voor een bezoek aan een node gelijk aan nul gezet. Om daarnaast ook een goede oplossing in een redelijke tijd voor het probleem te vinden, werd het ontwikkelde heuristisch algoritme toegepast. De lengte van de tabu tenure werd op 3 verondersteld, en 1000 iteraties werden uitgevoerd voor een tabu zoekprocedure. De tolerantie waarde was echter een kritische factor in de prestatie van het heuristisch algoritme. Om het effect te onderzoeken van de tolerantiewaarde, werd geëxperimenteerd met drie willekeurig gegenereerde problemen die evenzeer via enumeratie bepaald waren. Vervolgens werd de gemiddelde procentuele fout berekend voor 30 herhalingen. Deze procentuele fout werd volgens de volgende formule bepaald:

$$\text{Procentuele fout} = \frac{100 \times (\text{totale kost oplossing via heuristiek} - \text{totale kost optimale oplossing})}{\text{totale kost van de optimale oplossing}}$$

Het is echter moeilijk te zeggen dat een bepaalde relatie bestaat tussen de gemiddelde procentuele fout en de tolerantiewaarde. Dit is, een stijging of daling in de waarde van tolerantie kan niet garanderen dat de gemiddelde procentuele fout stijgt of daalt. Daarom, werd de tolerantiewaarde tussen 1.0 en 2.0 gezet, en stijgend met intervallen van 0,1. Om het effect van het voorgestelde algoritme te vinden, vergeleken ze het resultaat van het algoritme met dit verkregen via enumeratie bij dertig herhalingen van elk probleem. Hierbij was hoogstens een gemiddelde fout van 4% van de totale kosten tussen het voorgestelde algoritme en enumeratie. Hierdoor lijkt het voorgestelde algoritme een goed resultaat op een efficiënte wijze te leveren.

²⁴ enumeratie methoden: deze methoden bekijken de doelwaarde van alle punten in de zoekruimte (de branch-and-bound methode is hier een voorbeeld van).

B. Interne planning

Materiaalbehandeling is een grote zorg bij voorraadbeslissingen vermits het hoofdzakelijk een extra kosten genererende activiteit is. Een doel bij materiaalbehandeling is dan ook de behandelingskosten te doen dalen en het gebruik van de beschikbare ruimte te optimaliseren. De materiaalbehandeling kan onder meer verbeterd worden aan de hand van een goede ruimtelijke lay-out en goed vrachtgebruik. Daarnaast is ook een goede planning van de beschikbare arbeidskrachten en de aankomst- en vertrektijden van de transporten van groot belang. Daarom wordt eerst een model besproken dat de planning van de teams binnen een cross-dock centrum behandelt. Vervolgens wordt ook een model voor de synchronisatie van de transporten aangehaald.

Plannen van teams

Li et al (2004) bestudeerden de planning van de beschikbare werknemers binnen een cross-dock. Het doel van het verkregen model is ervoor te zorgen dat de doorvoertijd en de opslagtijd van de goederen geminimaliseerd wordt. Om dit te realiseren wordt het probleem als een parallel machine planningsprobleem gemodelleerd. Elke binnenkomende en uitgaande container is een taak die gedaan moet worden door teams. Deze teams worden als machines gezien waarvan slechts een beperkt aantal beschikbaar zijn. Daarom moet het toewijzen van de teams aan de af te handelen vrachten exact gebeuren. Een goede planning is ook vereist om te zorgen dat de "timing" perfect verloopt om zo het doel van cross-docking te kunnen realiseren, namelijk een zo kort mogelijke opslag. Daarvoor is een schema nodig dat specificeert wanneer de af- en opbouw van de ladingen moet beginnen en uitgevoerd zijn. Dit met het doel dat de goederen exact op het opleveringstijdstip klaarstaan.

Het wordt een parallel probleem genoemd omdat de behandeling van binnenkomende vrachten als parallel en gelijksoortig gezien wordt met de uitgaande ladingen. De teams kunnen hieraan immers simultaan werken.

Om het model praktisch bruikbaar te maken worden twee heuristische voorgesteld. Voor integere programma oplossers, zoals ILOG en CPLEX, duurt het immers te lang om tot een oplossing te komen bij problemen van een grote schaal. Beide heuristieken kunnen gezien worden als lokale zoektechnieken binnen een genetisch algoritme (zie bijlage 5).

Het ene maakt gebruik van een Squeaky Wheel optimalisatie (zie bijlage 6) heuristiek en het andere gebruikt een LP oplosser zoals CPLEX voor het oplossen van een subprobleem. Uit de resultaten van de experimenten blijkt dat de LPGA superieure prestaties levert maar dat SWOGA sneller is.

Synchronisatie van de transporten

Het onderzoek van Ting et al (2004) concentreert zich dan weer op de synchronisatie van alle inbound en outbound transporten bij de cross-dock terminal. De focus ligt hierbij op het probleem van de coördinatie van het voertuigschema. Het verkregen algoritme optimaliseert de inbound en outbound voertuigplannen die samenkomen bij de cross-dock terminal. Hiervoor is een model van totale systeemkosten ontwikkeld voor drie verschillende werkingsstrategieën. Het uiteindelijke doel is de minimalisatie van de totale systeemkosten waartoe de werkingskosten van de voertuigen, voorraadkosten en transshipmentkosten behoren.

De drie strategieën die in het onderzoek overwogen worden zijn: de ongecoördineerde strategie (de basisstrategie waarbij de voertuigen willekeurig arriveren), een gecoördineerde werkwijze met een gemeenschappelijke headway²⁵ voor elke route en ten slotte de gecoördineerde werkwijze met een integere ratio headway.

Het voordeel van de gemeenschappelijke headway strategie is dat de producten onmiddellijk transhipped kunnen worden naar de outbound voertuigen via de nodige behandelingsprocessen. Hierdoor zijn de wachtkosten voor transshipment bijna weggewerkt. Echter, indien routes met een sterk verschillende vraag verplicht worden dezelfde headway te gebruiken, is het nadeel dat de stijging van de werkings- en voorraadkosten mogelijk de daling van de wachtkosten tijdens transshipment overschrijden. Daarom wordt in zulke gevallen beter gebruik gemaakt van een integere ratio headway.

Bij integere ratio headway's zoeken we naar de geoptimaliseerde headway's die integere veelvoud zijn van de basiscyclus. Deze basiscyclus wordt geoptimaliseerd als een ronde fractie van 60 minuten, d.w.z. 60 minuten gedeeld door een geheel getal. Deze

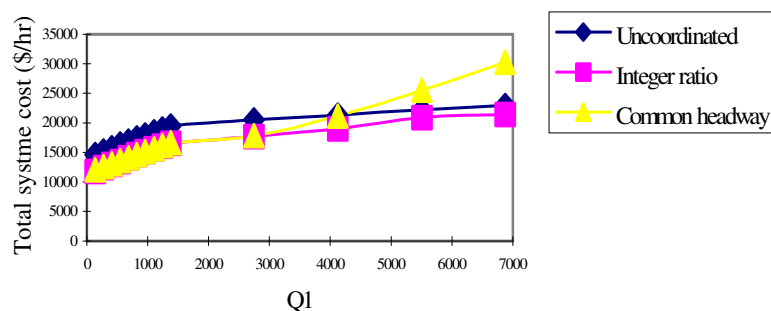
²⁵ Headway is hier het verschil in tijd dat twee voertuigen scheidt die dezelfde route afleggen.

integere veelvoud van de basiscyclus zorgen ervoor dat voertuigen op andere routes (bijna) simultaan aankomen bij de cross-dock terminal.

De totale systeemkosten van het logistieke cross-docking systeem dat zowel de niet-transshipment kosten, zoals de werkingskosten, voertuigkosten en voorraadkosten bij de productie en bestemmingssites, als de transshipment kosten bevat, worden geformuleerd voor elke strategie. Oplossingen voor optimale headway's in de ongecoördineerde operaties worden op analytische wijze gevonden. Voor de gecoördineerde schema's wordt een heuristisch "branch-and-bound" algoritme voorgesteld om de headway te vinden die de totale systeemkosten minimaliseert.

Ting et al (2004) passen de bevindingen ook toe op een numeriek voorbeeld. Hieruit blijkt dat bij de gecoördineerde strategieën de voorraadkosten hoger zijn dan bij de ongecoördineerde strategie. Echter, het dalen van de transshipment kosten overtreft de stijging van de voorraadkosten waardoor ze toch beter presteren.

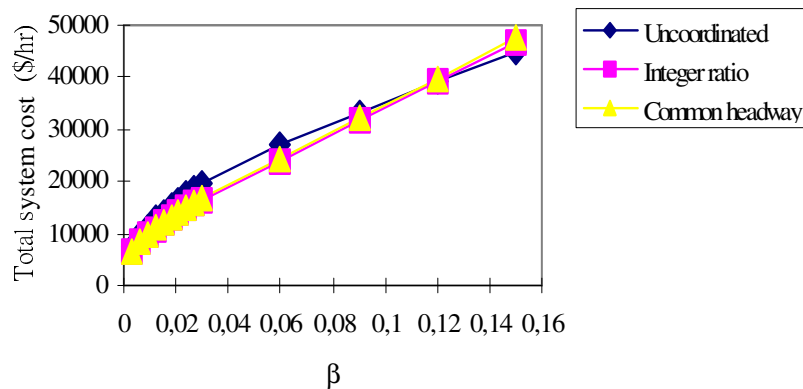
Vervolgens zijn de totale systeemkosten bij verschillende vraagniveaus voor een product Q_1 uitgezet in figuur 9. Hieruit blijkt dat de integere ratio headway strategie steeds de laagste totale systeemkosten levert voor alle vraagniveaus. Bij lagere vraagniveaus blijken zowel de gemeenschappelijke headway en integere ratio headway dicht bij elkaar gelegen resultaten op te leveren. De kosten bij de gemeenschappelijke headway strategie nemen echter bij grotere vraagniveaus sterk toe. Hierdoor wordt deze strategie dan de slechtste van de drie. De oorzaak hiervan is dat de gemeenschappelijke headway alle routes dwingt om de hoogste headway, die tussen alle routes bestaat, te volgen waardoor hogere voertuigwerkingskosten worden veroorzaakt.



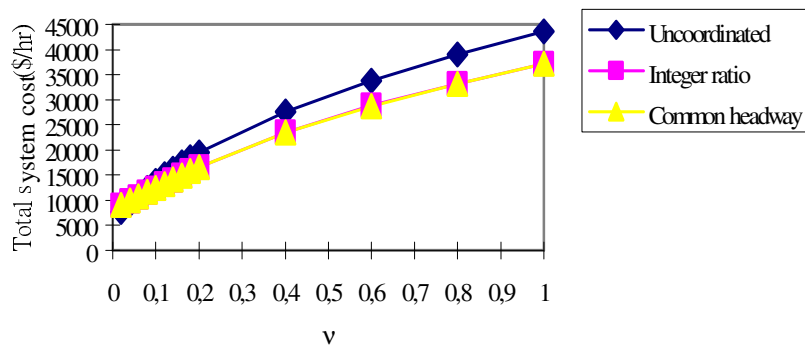
Figuur 9: De totale systeemkosten tegenover verschillende vraagniveaus bij een route²⁶

²⁶ Ting et al (2004)

Figuur 10 geeft weer dat de integere ratio headway strategie bij lage variabele voertuigwerkingskosten per eenheid (β) het beste presteert van de drie strategieën. Echter, indien de variabele voertuigwerkingskosten per eenheid stijgen ($> \$0.12/\text{lb-hr}$), wordt de ongecoördineerde werkingsstrategie voordelig. Daarnaast geeft Figuur 11 de totale systeemkosten weer bij variërende voorraadkosten van de producten. Indien de kosten voor het in voorraad houden van een product laag zijn, levert de ongecoördineerde werkingsstrategie de laagste systeemkosten van de drie strategieën. Wanneer de voorraadkosten echter stijgen, worden de laagste totale systeemkosten verkregen bij de integere ratio headway strategie. Dit indiceert dat cross-docking beter past bij de vergankelijke, hoog waardige, producten om zo de transporttijden te verminderen.



Figuur 10: Totale systeemkosten tegenover de voertuigwerkingskosten per eenheid²⁷



Figuur 11: Totale systeemkosten tegenover de voorraadkosten²⁸

²⁷ Ting et al (2004)

²⁸ Ting et al (2004)

C. Toewijzen vrachtwagens aan poorten

Bij grote cross-dock terminals is de toewijzing van de vrachtwagens aan de poorten een sleutelactiviteit. De terminals bevatten soms 10 tot 200 of zelfs meer poorten. De vrachtwagens moeten daarnaast ook een bepaalde tijdsperiode aan een specifieke poort toegewezen krijgen om alles vlot te laten verlopen. Gedurende deze tijdsperiode worden de vrachtwagens uit- of ingeladen. Een probleem bij de planning is dat de beschikbaarheid van poorten en de geschatte aankomst/vertrektijd kunnen veranderen gedurende de planningshorizon vanwege onvoorziene omstandigheden, zoals vertragingen en verkeerscontroles. Hierdoor is een bekende scène bij cross-docks dat arriverende trucks moeten wachten, omdat een andere truck nog niet afgewerkt is, waarna ze uiteindelijk behandeld kunnen worden.

Een goede toewijzing van de poorten is dus vereist om zo de vertragingen te verminderen en een betere prestatie van het transshipment netwerk te verkrijgen. Dit gebeurt onder meer door de afstand die de goederen in de cross-dock moeten afleggen te verminderen. De benodigde planning hiervoor is echter moeilijk geworden vanwege de grote hoeveelheden vracht die vervoerd worden en de dynamische kenmerken van het probleem. (Lim et al; 2006)

In praktijk proberen supervisors de planning te doen door de binnenkomende trailers toe te wijzen aan poorten die het dichtst bij de bestemmingstrailers gelegen zijn waarvoor ze de meeste vracht hebben (Acar, 2004). Bartholdi en Gue (2000) gaan hier echter niet mee akkoord. Vaak gaan de supervisors hun toewijzingen op andere factoren baseren, zoals:

- de geplande vertrektijden van de uitgaande trailers
- de mix van de vracht op de binnenkomende trailers (bijvoorbeeld, indien veel vracht in vorm van pallets op de kades staan, zullen de vorkliften bezet zijn en kan de supervisor verkiezen om een trailer met hoofdzakelijk vrachten bestaande uit dozen uit te laden)
- de ervaring van de beschikbare arbeiders (supervisors proberen de ervaren arbeiders te koppelen aan de moeilijke ladingen)

Deze toewijzingen zijn dan gebaseerd op intuïtie of gebeuren aan de hand van enkele eenvoudige spreadsheet berekeningen. Dit wordt echter moeilijk indien de supervisors

rekening moet houden met andere factoren. Zo kan de terminal gaan uitbreiden of worden prioriteiten opgesteld voor zendingen die een snelle doorstroming vereisen (Bartholdi en Gue; 2000). Uiteindelijk is het doel van de supervisor om toewijzingen te doen die het werk minimaliseren en dit omvat bijna altijd het minimaliseren van de reisafstand van de arbeiders (Acar; 2004).

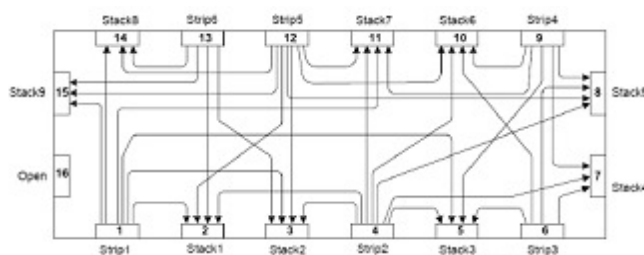
Vervolgens zullen drie modellen voorgesteld worden die de reisafstand trachten te minimaliseren en het proces ook vlotter doen verlopen. Het eerste model tracht de optimale lay-out van de cross-dock te bepalen. Het tweede model voorziet in een robuuste poort toewijzing, terwijl het derde model de poorten toewijst op basis van de minimalisatie van de gewogen afstand afgelegd door de goederen in de cross-dock.

Lay-out van de cross-dock

Voordat de vrachtwagens toegewezen kunnen worden, moet de lay-out van de cross-dock vastliggen. Met de lay-out verwijzen Bartholdi en Gue (2000) naar de specificatie van de poorten, waarbij drie mogelijkheden zijn:

- strip poorten: hier worden de volle trailers geplaatst om uit te laden,
- stack poorten: lege trailers worden hier geladen voor een vaste bestemmingen verbonden aan de poort,
- open poorten: deze kunnen voor beide gebruikt worden .

Zo wordt in figuur 12 de mogelijke lay-out getoond van een cross-dock centrum met 6 strip poorten, 9 stack poorten en één open poort. Tevens worden de mogelijke routes getoond die de goederen moeten afleggen om van inbound naar outbound te gaan.



Figuur 12: Voorbeeld van de lay-out van een cross-docking centrum²⁹

²⁹ Aickelin en Adewunmi (2006)

Eenmaal het doel van de poorten vastligt, verandert dit niet meer. Een "stack" poort krijgt altijd de vracht voor dezelfde bestemming. Een "strip" poort daarentegen kan trailers ontvangen ongeacht de afkomst of inhoud (Bartholdi en Gue; 2000).

Volgens Bartholdi en Gue (2000) hangt de efficiency van de arbeiders in grote mate af van de wijze waarop de trailers worden toegewezen aan de poorten rond de cross-dock. Daarom is een goede lay-out van groot belang. Dit vermindert immers de reisafstand zonder congestie te creëren in de cross-dock. Hiervoor ontwikkelden ze modellen die lokale zoekroutines gebruiken bij het toewijzen van bestemmingstrailers aan terminalpoorten zodat de arbeidskosten geminimaliseerd worden. Dit vereist het balanceren van de kosten vanwege het verplaatsen van de vracht van binnenkomende trailers naar uitgaande met de kost van de vertragingen vanwege de verschillende types van congestie. Een belangrijke determinant van reis- en congestiekosten zijn dan ook de regels die de supervisor gebruikt voor het toewijzen van de binnenkomende trailers aan de strip poorten. Omdat de reisafstanden echter vaak genegeerd worden bij de toewijzing van de poorten, gebruiken de supervisors vaak een first-come, first-served beleid.

Bartholdi en Gue (2000) beschrijven daarom een model dat rekening houdt met de reisafstand en drie types van congestie die algemeen voorkomen binnen cross-docking terminals. Hiervan wordt gebruik gemaakt om tot een lay-out te komen die de arbeidskosten door het verplaatsen van goederen moet doen verminderen. Zo bleek in een terminal van Viking Freight in Stockton, California de productiviteit met 11,7% te verbeteren na de toepassing van het model.

Het model schat de kosten van het transport van de lading van de "strip" poort naar de "stack" poort in man-uren. De twee hoofdkosten in het model zijn de reistijd van de arbeiders en de wachttijd van deze arbeiders tengevolge van congestie. Bovendien wordt het model beperkt door "ruimte congestie". De lading kan immers niet altijd onmiddellijk voor de "stack" poort geplaatst worden en moet daarom tijdelijk op een naburige ruimte gedeponerd worden. Dit kan komen omdat eerst een ander type vracht nodig is om een betere belading van de trailer te verkrijgen, de trailer moet eerst wachten tot nog andere goederen arriveren die ook mee moeten, enz. Het tijdelijk wegzetten van de vracht is natuurlijk ongewenst omdat dit een dubbele behandeling

veroorzaakt. Bovendien kan dit de congestie die veroorzaakt wordt door vorkliften doen toenemen, door het creëren van bottlenecks voor de stack poorten met een hoog niveau van doorstroming (Bartholdi en Gue; 2000).

De gebruikte oplossingsprocedure bestaat erin dat op basis van de reisafstand een eerste lay-out ontwikkeld wordt. Deze lay-out wordt dan aan de hand van simulated annealing, dat paren van trailers omwisselt, verbeterd waarbij elke verandering van de totale kost geëvalueerd wordt. Op deze wijze wordt dan een effectieve lay-out bekomen.

De huidige werkwijze is volgens Bartholdi en Gue (2000) dat de strip poorten en de stack poorten onafhankelijk gegroepeerd worden. De strip poorten zijn gewoonlijk in het centrum van de cross-dock gelegen omdat de managers geloven dat dit de reisafstand zal doen verminderen. De stack poorten worden vaak logisch geschikt, zoals per geografische regio of per vereiste vertrektijd.

Zulke lay-outs hebben diverse problemen:

- de stack poorten met hoge doorstroming worden in de hoeken geplaatst, wat de congestie op de vloer doet toenemen,
- de mogelijkheid om vracht te cross-docken ontbreekt omdat strip poorten tegenover strip poorten staan,
- hoge doorstroming stack poorten staan naast elkaar wat leidt tot congestie door vorkliften.

Indien het model van Bartholdi en Gue (2000) toegepast wordt, worden de activiteiten juist hoofdzakelijk in het centrum van de cross-dock geconcentreerd, zeker wanneer de doorstromingsintensiteit hoog is. Een ander kenmerk van de oplossingen is dat de hoogste doorstromingsregio's aan elke zijde in het centrum lichtjes compenseren. Dit verbetert de efficiency op twee wijzen: het vermindert de congestie in het centrum van de cross-dock en het ondersteunt cross-docking. Een derde eigenschap aan de oplossingen van het model, is dat de hoeken van de terminal vaak gebruikt worden door de stack poorten met weinig activiteit. Het plaatsen van de lage doorstroming poorten in de hoeken zou ook de congestie op de werkvloer verminderen.

Volgens Bartholdi en Gue (2000) levert het model enkele bruikbare regels op voor het bekomen van een efficiënte lay-out:

- verspreid hoge doorstroming stack poorten over het centrum van het dock om zo de reistijd en de congestie te doen verlagen
- compenseer de hoge doorstromingssecties in het centrum lichtjes om congestie te verminderen en cross-docking te promoten
- plaats strip poorten tegenover veelgebruikte stack poorten om zo cross-docking en efficiënt gebruik van vorkliften mogelijk te maken
- plaats de minst gebruikte poorten in de hoeken om congestie te vermijden vanwege de klaarstaande vracht
- richt regio's van locale doorstroming op wanneer trailers verschillende types vracht en samenstellingen hebben.

Robuuste poort toewijzingsbenadering bij LTL terminals

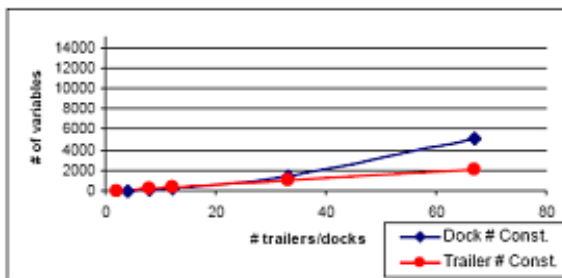
In een ander onderzoek, door Acar (2004), werd gezocht naar een robuuste poort toewijzingsbenadering bij LTL terminals. Dit moest dan de prestatievermindering minimaliseren wanneer variabiliteit aanwezig is. Hierbij werd de variabiliteit aan de hand van volgende drie categorieën gedefinieerd:

1. Variabiliteit in aankomsttijden van de vrachtwagens,
2. Variabiliteit in ladingverdeling: de verdeling van de vracht van een binnenkomende trailer over de outbound poorten die de vracht als bestemming heeft,
3. Variabiliteit in transfertijden: de tijd dat de transporteenheden binnen de terminal verblijven.

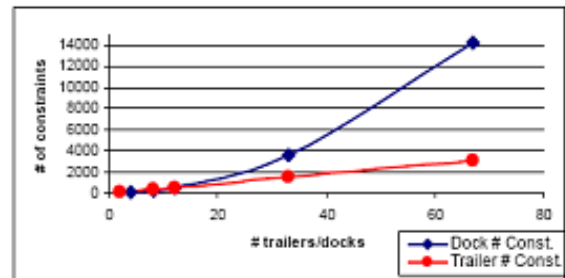
Acar (2004) introduceert hiervoor een optimaal gemixt integer kwadratisch model (MIQP), met continue en binaire variabelen en een kwadratische doelfunctie. Het doel is het genereren van toewijzingen die robuust zijn tegen variabiliteit in systeemparemeters zoals vrachtwagenaankomst en behandelingstijden, kenmerken van de terminal en ladinginhoud van de trailer. Aan de hand van een heuristiek worden de rekenkundige moeilijkheden verminderd die geassocieerd worden met het optimale model om zo realistische problemen op te kunnen lossen. Voor de "real time" beslissingen wordt ook een dynamische poorttoewijzingsheuristiek gegeven.

Acar (2004) stelt eerst zijn optimaal MIQP model voor. Dit model vertegenwoordigt de theorie achter de robuustheidsbenadering. Door de totale ongebruikte tijd van de poorten gelijk te verdelen tussen de trailers, wordt van het systeem verwacht dat buffers ontstaan om op deze wijze om te kunnen gaan met de variabiliteit tussen de geplande en werkelijke tijden. Echter, de rekenkundige moeilijkheden die geassocieerd zijn met het optimale model zorgen ervoor dat problemen van een realistische grootte onoplosbaar worden. Het model genereert dan een grote hoeveelheid variabelen en beperkingen vanwege de kwadratische doelfunctie en de Y_{ijk} variabelen. Het gevolg daarvan is dat de berekeningen veel complexer worden.

Volgende twee figuren tonen de toename van het aantal variabelen en beperkingen bij een stijging van het aantal trailers (poorten) bij respectievelijk een constant aantal poorten (trailers). Het aantal variabelen en beperkingen blijken exponentieel te stijgen bij een stijgend aantal trailers en nemen lineair toe met het aantal poorten. Dit veroorzaakt dan ook een sterke stijging in de benodigde berekeningstijd.



Figuur 13: Effect van het aantal trailers/docks op het aantal variabelen³⁰



Figuur 14: Effect van aantal trailers/docks op het aantal beperkingen³¹

Dit leidde tot het gebruik van twee heuristieken om tot suboptimale oplossingen te komen, namelijk het DAH en het DDAH. De statistische testen indiceerden dat bij problemen van een kleine schaal de DAH (dock assignment heuristic) methode binnen een gemiddelde afwijking van 4,41% presteert ten opzichte van het optimale model. Hierdoor zou de DAH methode dus aanvaardbaar zijn voor de algemene toepassingen. Echter, bij grotere hoeveelheden van poorten, wordt verwacht dat de heuristische prestaties significant zullen afnemen met de stijging van het aantal poorten. Verdere

³⁰ Acar (2004)

³¹ Acar (2004)

testen met hogere aantallen van poorten werden niet uitgevoerd vanwege de beperkingen van het "optimaal" model. Hierdoor konden de resultaten van de heuristiek immers niet vergeleken worden met de optimale resultaten.

De DAH loste een aantal rekenkundige problemen op, maar dit was onvoldoende om het in "werkelijke" tijd toepassingen te gebruiken. Daarom werd de DAH aangepast tot een heuristiek die wel in "werkelijke" tijd toepassingen gebruikt zou kunnen worden, namelijk de DDAH (dynamic dock assignment heuristic). Deze bleek het iets beter te doen en eveneens aan de vereiste robuustheid te voldoen om de variabiliteit op te vangen.

Om de robuustheid van de DDAH te testen, werd een gevalstudie uitgevoerd aan de hand van werkelijke data. Hiervoor werd de DDAH vergeleken met een poorttoewijzingsbenadering die gebruikt wordt door "Watkins Motor Lines", waarnaar verwezen zal worden als het "static dock assignment model" (SDAM). De poorttoewijzingen in SDAM zijn gebaseerd op de minimalisatie van de reisafstanden. Hierbij worden dan de inbound en outbound poorten toegewezen op basis van geaggregeerde data, die verschillende maanden of nog langer vertegenwoordigen.

De resultaten van de test geven aan dat de DDAH een robuuste heuristiek is in vergelijking met de SDAM. Verder presteerde de DDAH gelijkaardig of beter bij elke behandeling van het systeem, zelfs bij hogere bezettingsgraden. (Acar; 2004)

Aan de hand van het onderzoek van Acar (2004) stelden Aickelin en Adewunmi (2006) tijdens de "ASAP: Group Research Seminars" van mei 2006 hun voorstel tot studie van het poort allocatieprobleem voor. De bedoeling is de reisafstand van het materiaal voor goederenbehandeling te minimaliseren aan de hand van een tweezijdige oplossing: namelijk simulatie en optimalisatie van het simulatiemodel ofwel simulatie optimalisatie³². Het nieuwe aspect van deze oplossingsbenadering is dat simulatie

³² Simulatie optimalisatie is het proces voor het vinden van de beste waarde van de beslissingsvariabelen voor een systeem, waarbij de prestatie geëvalueerd wordt op basis van de output van een simulatiemodel van dit systeem.

gebruikt wordt om een meer realistische doelfunctie te verkrijgen. "Memetic"³³ algoritmes zouden gebruikt gaan worden om een optimale oplossing te verkrijgen. Het hoofdvoordeel van het gebruik van "memetic" algoritmes is dat het lokaal zoeken combineert met genetische algoritmes.

Bartholdi en Gue (2000) merken echter op dat veel optimalisatie modellen ter verbetering van de lay-out van cross-dock gebaseerd zijn op de poort-tot-poort afstand. Dit verleent zich immers goed voor meer formele methoden van wiskundige programmering. Voor veel LTL terminals is de accuraatheid van deze benaderingen echter een illusie omdat de kortste poort-tot-poort afstand geen goede maatstaf voor de reistijd is. De werkelijke reistijd is onder meer afhankelijk van het type vracht (bijvoorbeeld zwaar genoeg voor een snelle heftruck of licht genoeg voor een transpalet) en de lokale werkingsregels over hoe elke eenheid van vracht moet worden verplaatst.

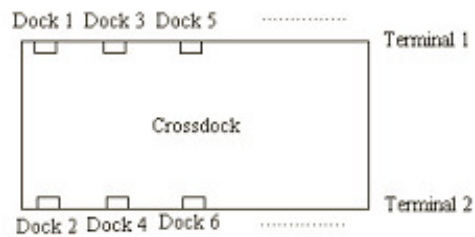
Erger zelfs, het minimaliseren van de poort-tot-poort afstand kan juist congestie gaan veroorzaken. Indien meer activiteit in een kleiner gebied van de terminal wordt geplaatst, zullen de vertragingen toenemen. Op deze wijze gaan bijvoorbeeld de heftrucks elkaar meer hinderen. De congestie leidt dan tot overvloedige arbeidskosten en kan resulteren in zendingen die de overeengekomen tijden niet halen. Zo zijn Bartholdi en Gue (2000) een geval tegengekomen waarbij het tien minuten duurde voordat alle congestie verdwenen was. Een onderzoek naar toewijzingsproblemen van poorten dat zich concentreert op het minimaliseren van gewogen afstanden is dit van Lim et al (2006).

³³ Memetic algoritmes (MA) zijn evolutionaire algoritmes (EA) die een bepaald type van lokaal zoeken toepassen om de "fitness" van individuen in de populatie te verbeteren. Ruw gezegd, zijn het dus hybriden van evolutionaire algoritmes en probleem specifieke zoek algoritmes, zoals de greedy heuristieken. Evolutionaire algoritmes is een collectieve term voor alle varianten van optimalisatie en benaderingsalgoritmes die geïnspireerd zijn door de Darwinistische evolutie, waaronder het genetisch algoritme (Beyer et al; 2007).

Toewijzing poorten op basis van gewogen afstand

Lim et al (2006) behandelen het toewijzen van vrachtwagens aan poorten bij een cross-dock met tijdsvensters en capaciteitsbeperkingen waarbij de hoeveelheid vrachtwagens het aantal poorten overschrijdt. Het doel is de totale transportafstand binnen de cross-dock, van inkomende poort naar uitgaande poort, te minimaliseren. Het probleem wordt eerst geformuleerd als een Integer Programming (IP) model, en daarnaast wordt gebruik gemaakt van Tabu Search (TS) en Genetische Algoritmes (GA) die de IP beperkingen gebruiken om tot een oplossing te komen.

Het verkregen model wordt getest aan de hand van een theoretische cross-dock bestaande uit twee parallelle sets van terminals, waarbij de poorten symmetrisch in de twee terminals gelegen zijn (figuur15). De transporten binnen de cross-dock worden verondersteld enkel horizontaal en verticaal te kunnen lopen, wat overeenkomt met de "Manhattan" meetmethode.



Figuur 15: Cross-dock topology³⁴

In tabel 5 staan de resultaten van de gebruikte methodes bij testen uitgevoerd op kleine schaal. In de eerste rij van de tabel staat telkens de omvang van de uitgevoerde test, waarbij $n \times m$ staat voor n trucks en m poorten. Vervolgens wordt bij elke methode het verkregen resultaat gegeven en de benodigde berekeningstijd. Uit de resultaten blijkt dat het genetisch algoritme buitengewoon goed presteert. Het behaalt immers altijd de beste waarden van de test. De oplossingskwaliteit van de "Tabu Search" werkwijze zijn lichtjes zwakker maar deze methode blijkt veel sneller te werken. Uit de resultaten van de werkwijze via CPLEX blijkt dan weer dat deze enkel een optimale oplossing haalt,

³⁴ Lim et al (2006)

binnen de tijdlimiet van twee uur, bij de drie kleinste testen. De oplossingskwaliteit is daardoor veel lager dan bij de twee metaheuristische³⁵ benaderingen.

Tabel 5: Resultaten van testen op kleine schaal³⁶

Omvang	12 x 4	12 x 5	14 x 4	14 x 5	16 x 6	16 x 7	18 x 6	18 x 7
CPlex	<u>7523</u>	<u>8914</u>	<u>12117</u>	3680	22984	13049	14712	14276
Tijd (s)	1035	5460	3166	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200
TS	<u>7523</u>	8917	12200	3578	21017	12528	13760	13818
Tijd (s)	0,55	0,58	0,56	0,58	0,66	0,64	0,72	0,78
GA	<u>7523</u>	<u>8914</u>	<u>12117</u>	<u>3464</u>	<u>20953</u>	<u>12489</u>	<u>13635</u>	<u>12986</u>
Tijd (s)	1,89	1,75	2,53	2,61	2,91	4,13	4,81	5,58

Bij de controle van de testen op grote schaal, blijkt dat de "Tabu Search" benadering het hierbij beter doet dan het genetisch algoritme en dit zowel op vlak van kwaliteit als snelheid. In het algemeen leveren beide methodes een redelijk goede oplossing, maar bij grotere problemen blijkt de oplossingstijd van het genetisch algoritme toch sterk toe te nemen.

Tabel 6: Resultaten van testen op grote schaal³⁷

Omvang	20 x 6	20 x 7	25 x 6	25 x 7	30 x 8	30 x 9	35 x 8	35 x 9
CPlex	62537	64682	101683	112648	146595	134762	148654	145725
Tijd (s)	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200	≥7200
TS	<u>40777</u>	<u>49219</u>	<u>68610</u>	<u>76418</u>	99442	<u>97981</u>	<u>105312</u>	116147
Tijd (s)	1,06	1,02	1,31	1,28	1,84	1,81	2,28	2,34
GA	42405	60610	68892	78112	<u>95918</u>	98355	105768	<u>111341</u>
Tijd (s)	5,36	1,95	9,95	7,2	17,83	15,8	51,11	59

³⁵ Metaheuristieken zijn rekenmethodes die, met het beperken van het aantal stappen, zich richten op een veelbelovend gebied in de oplossingsruimte, om zo een goede oplossing te vinden.

³⁶ Lim et al (2006)

³⁷ Lim et al (2006)

Hoofdstuk IV: Uitgewerkt model

In dit hoofdstuk zal het eerder besproken model van Chen et al (2006) omgezet worden in de LINGO³⁸ modelleringstaal. Het model van Chen et al (2006) behandelt een netwerk bestaande uit meerdere cross-dock centra. Om bij de organisatie van de transporten een keuze uit deze centra te kunnen maken, werd een model opgesteld. Hiervoor wordt in het model rekening gehouden met de transportkosten, de tijdsvensters, de capaciteit van de cross-dock centra en de behandelingskosten. Het doel is uiteindelijk een minimale kosten distributieplan te verkrijgen door het minimaliseren van de transport- en voorraadkosten. Via het model wordt dan de keuze van cross-dock en de lever- of afhaaltijden verkregen. Het model van Chen et al (2006) heeft de volgende vorm:

Invoer

D	Een set van m leveringen, geïndexeerd door i
P	Een set van n ophalingen, geïndexeerd door j
C	Een set van c cross-docks, geïndexeerd door k
G	Een set van d producten, geïndexeerd door r
T	Een set van tijden, geïndexeerd door t

Parameters

DP	Binaire matrix, waarbij $DP_{i,r} = 1$ indien product r geleverd wordt door levering i, en anders 0
DA	Vector, waarbij DA_i de geleverde hoeveelheid is door levering i
DD	Matrix waar $DD_{i,k}$ de afstand voorstelt nodig voor levering i naar cross-dock k
DS	Vector waarbij DS_i de eindtijd is van levering i.
DE	Vector waarbij DE_i de eindtijd is van levering i. Hierbij worden de ophaal parameters PP, PA, PD, PS, PE soortgelijk gedefinieerd
CAP	Een vector, met CAP_k die de capaciteit van cross-dock k voorstelt
COST	Een vector, met $COST_k$ de behandelingskost van een eenheid product voor een tijdseenheid in cross-dock k
T_{min}, T_{max}	De minimum en maximum tijd die de tijdshorizon bepalen

Beslissingvariabelen

$X_{i,k,t}$	Binair, en is 1 indien levering i verbonden is met cross-dock k op tijdstip t en anders 0
$Y_{j,k,t}$	Binair, en is 1 indien ophaling j naar cross-dock k gaat op tijdstip t, en anders 0
$Z_{r,k,t}$	Integer, en is de hoeveelheid van product r bij cross-dock k op tijdstip t

³⁸ LINGO is een softwarepakket dat het mogelijk maakt om lineaire, niet-lineaire en integer optimalisatiemodellen efficiënter te formuleren en op te lossen.

Doelfunctie

Minimaliseer ($COST_{\text{transport}} + COST_{\text{voorraad}}$)

Waarbij

$$Cost_{\text{transport}} = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{\min}}^{T_{\max}} x_{i,k,t} DD_{i,k} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^c \sum_{t=T_{\min}}^{T_{\max}} y_{j,k,t} PD_{j,k}$$

$$Cost_{\text{voorraad}} = \sum_{k=1}^c COST_k \sum_{r=1}^d \sum_{t=T_{\min}}^{T_{\max}} z_{r,k,t}$$

Beperkingen

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=DS_i}^{DE_i} x_{i,k,t} \leq 1 \text{ voor alle } i \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{t=PS_j}^{PE_j} y_{j,k,t} = 1 \text{ voor alle } j \quad (2)$$

$$z_{r,k,t} \geq 0 \text{ voor alle } r,k \text{ en } T_{\min} \leq t \leq T_{\max} \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^d z_{r,k,t} \leq CAP_k \text{ voor alle } k \text{ en } T_{\min} \leq t \leq T_{\max} \quad (4)$$

$$z_{r,k,T_{\min}-1} = 0 \text{ voor alle } r,k \quad (5)$$

$$z_{r,k,t} = z_{r,k,t-1} + \sum_{i=1}^m x_{i,k,t} DP_{i,r} DA_i - \sum_{j=1}^n y_{j,k,t} PP_{j,r} PA_j \text{ voor alle } r,k \text{ en } T_{\min} \leq t \leq T_{\max} \quad (6)$$

Beperking (1) verzekert dat elke levering maximaal éénmaal voldaan wordt binnen zijn gespecificeerd tijdsvenster. Beperking (2) legt de tijdsvensters op aan de ophalingen en (3) garandeert dat de stroom van elke eenheid product bij elke cross-dock niet negatief wordt. De capaciteitsbeperking van elke cross-dock wordt ten alle tijd beperkt door (4), en (5) zorgt ervoor dat de beginvoorraad voor elk product in elke cross-dock nul is. Uiteindelijk worden de veranderingen in voorraadniveaus bijgehouden door (6), hetgeen de conservatie van de productstroom verzekert.

LINGO

Vervolgens werd dit model herschreven in de LINGO-taal. Hierbij werden bovendien enkele aanpassingen doorgevoerd. Zo maakten Chen et al (2006) de beperking dat slechts één type product per keer geleverd en opgehaald kon worden. In het nieuwe model is het echter wel mogelijk om meerdere producten tegelijk te leveren of op te halen, hetgeen ook realistischer is. Daarvoor werden de variabelen $DP_{i,r}$ en DA_i samengevoegd tot $DA_{i,r}$. Hierdoor geeft DA niet enkel meer weer hoeveel geleverd moet

worden bij een levering, maar ook over welke producten dit gaat. Een analoge werkwijze werd toegepast op $PP_{j,r}$ en PA_j , hetgeen $PA_{j,r}$ opleverde. In LINGO geeft dit dan volgende model:

```
sets:
Levering: DS, DE;
Afhaling: PS, PE;
Cross-dock: CAP, COST;
Product;;
Tijd/T0..T20/;;
RXD( Levering, Product): DA;
RXP( Afhaling, Product): PA;
RXDD(Cross-dock,Levering):DD;
RXPD(Cross-dock,Afhaling): PD;
RXX (Levering, Cross-dock, Tijd): x;
RXY (Afhaling, Cross-dock, Tijd): y;
RXZ (Cross-dock,Product,Tijd): z;
end sets

DATA:
Product = @OLE(Cross-docking);
Levering = @OLE(Cross-docking);
Cross-dock = @OLE(Cross-docking);
Afhaling = @OLE(Cross-docking);
DS = @OLE(Cross-docking);
DE = @OLE(Cross-docking);
DA = @OLE(Cross-docking);
Tmin = @OLE(Cross-docking);
Tmax = @OLE(Cross-docking);
CAP = @OLE(Cross-docking);
COST =@OLE(Cross-docking);
PA = @OLE(Cross-docking);
PS = @OLE(Cross-docking);
PE = @OLE(Cross-docking);
DD = @OLE(Cross-docking);
PD = @OLE(Cross-docking);
@OLE(Cross-docking) = X;@OLE(Cross-docking) = Y;@OLE(Cross-docking) = z;
@OLE(Cross-docking) = RXz;@OLE(Cross-docking) = RXY;@OLE(Cross-docking) =
RXX;
Enddata

min =(@sum(RXX(i,k,t)|t#GE#Tmin #and# t#LE#Tmax: x(i,k,t)*DD(k,i)+
@sum(RXY(j,k,t): y(j,k,t)*PD(k,i)))+(@sum(Cross-dock (k):@sum(Product(r):
@sum(RXZ(k,r,t):COST(k)* z(k,r,t))))));
!beperking 1;
@for(levering(i):@sum(RXX(i,k,t)|t#GE#DS(i)#and# t#LE#DE(i):
x(i,k,t))<=1);
!beperking 2;
@for(afhaling(j):@sum(RXY(j,k,t)|t#GE#PS(j)#and# t#LE#PE(j): y(j,k,t))=1);
!beperking 3;
@for(RXZ(k,r,t)|t#GE#Tmin #and# t#LE#Tmax: z(k,r,t)>=0);
!beperking 4;
```

```
@for(Cross-dock(k):@for(tijd(t)|t#GE#Tmin #and# t#LE#Tmax:@SUM(RXZ(k,r,t):
z(k,r,t))<=cap(k));
!beperking 5;
@for(cross-dock (k):@for(product:@for(RXZ(k,r,t)|t#EQ#Tmin-
1:z(k,r,t)=0));
!beperking 6;
@for(RXZ(k,r,t)|t#GE#Tmin #and# t#LE#Tmax: z(k,r,t-1) +
@sum(levering(i):x(i,k,t)*DA(i,r))-@sum(afhaling(j):y(j,k,t)*PA(j,r))=
z(k,r,t));
@for(RXZ(k,r,t): @GIN(z(k,r,t)));
@for(RXX(i,k,t): @BIN(x(i,k,t)));
@for(RXY(j,k,t): @BIN(y(j,k,t)));
```

Vervolgens zal kort dieper ingegaan worden op de betekenis van de gebruikte noteringwijze in LINGO. Zo bestaat een model in LINGO uit drie onderdelen: het SETS gedeelte, een DATA onderdeel en het mathematische model.

Het SETS onderdeel is de fundamentele bouwsteen van LINGO. Hierin worden de sets en hun attributen ingegeven. De sets dienen voor het beschrijven van de repetitieve kenmerken. Zo heeft bijvoorbeeld elke cross-dock een bepaalde capaciteit en een specifieke behandelingskost. De attributen staan naast elke set. Voor de set "cross-dock" zijn bijvoorbeeld de attributen "CAP" en "COST" opgenomen, hetgeen de capaciteiten en de behandelingskosten zijn. Dit kan dus gezien worden als het beschrijven van de structuur van de data.

De DATA sectie voorziet in de benodigde data die gebruikt zal worden of geeft aan waar deze te vinden is. Zo verwijst "@OLE(Cross-docking)" naar de naam van het gebruikte Excel bestand, namelijk "Cross-docking.xls" (zie bijlage 7). Hierin bevonden zich de gegevens voor de variabelen om het model te laten werken. Verder werd via "@OLE(Cross-docking)" ook een deel van de output naar het Excel bestand terug gestuurd.

In de laatste sectie staat dan het mathematische model zelf. Hierbij dient het "@FOR(set: beperking)" commando om de beperkingen aan de leden van een set op te leggen. Verder berekent het "@SUM(set: uitdrukking)" commando voor elk lid van de set de uitdrukking die vervolgens wordt opgeteld. Daarnaast worden "@BIN" en "@GIN" gebruikt om de variabele binair of integer te maken.

De data die gebruikt werden voor het model komen overeen met het voorbeeld dat Chen et al (2006) uitgewerkt hebben. Echter, omdat met de studentenversie van LINGO gewerkt werd, kon slechts een model met een beperkt aantal variabelen en beperkingen uitgewerkt worden. Daarom was het noodzakelijk een kleiner model te testen, hiervan zijn de gegevens opgenomen in bijlage 8. Om dit model te laten werken, moest in het SETS onderdeel het aantal tijdsperiodes aangepast worden. Dit doet immers het aantal variabelen sterk afnemen. Daarom werd "Tijd/T0..T20/;" vervangen door "Tijd/T0..T1/;" waardoor het model gebruikt kon worden.

Bij het vereenvoudigde model wordt gebruik gemaakt van twee mogelijke cross-dock centra die in het transport van de goederen kunnen voorzien. Bij de eerste levering D1 zullen alleen 6 eenheden van product 1 geleverd worden, tegenover 3 eenheden van product 1 en 5 eenheden van product 2 bij de tweede levering D2. Daarnaast zal een eerste ophaling P1 gebeuren voor 4 eenheden van product 1 en bij de tweede ophaling P2 zullen 2 eenheden van product 2 meegenomen worden. Dit levert dan de output die eveneens in bijlage 8 staat.

Uit de output voor X blijkt dat de eerste levering D1 voorzien is voor cross-dock 2, terwijl de tweede levering cross-dock 1 als bestemming heeft. Dit geldt eveneens voor de ophalingen, wat zichtbaar is bij Y. De evolutie van de voorraden wordt dan weer door Z weergegeven. Zo blijven in cross-dock 2 uiteindelijk nog 2 (=6-4) eenheden van product 1 over. Daarnaast zullen in cross-dock 1 nog 3 (=3-0) eenheden van product 1 en 3 (=5-2) eenheden van product 2 blijven liggen.

Een laatste opmerking die nog over het originele model gemaakt moet worden, is dat het enkel leveringen toestaat indien de voorraad niet kan voldoen aan de vraag. Het model zal dus verhinderen dat onnodige leveringen plaatsvinden, ook al werden ze gepland.

Hoofdstuk V: Gevalsstudie Essers Transport Genk

Om een beter zicht te krijgen op de praktische uitvoering van cross-docking, heb ik de heer Johan Ghijselinck geïnterviewd. Hij is bij Essers Transport in Genk verantwoordelijk voor transport en administratie, de Europese cross-docking activiteiten en het transport management systeem dat door Essers zelf ontwikkeld werd.

Essers is al sinds 1995 actief in de vestiging te Genk. De jaarlijkse omzet door cross-docking in de vestiging van Genk bedraagt ongeveer € 100 miljoen. Bovendien bedroeg de gemiddelde groei van deze activiteit de laatste drie jaar maar liefst 25%.

De transporten in de vestiging van Genk gebeuren over twee magazijnen met een capaciteit van 7.000m² en 3.500m². Het grootste magazijn bestaat uit 72 poorten: in de lengte telkens 35 poorten en dan nog 2 zijdelings geplaatste kaaien. Deze laatste twee kaaien doen dienst voor de grotere ladingen die omwille van hun omvang enkel zijdelings ingeladen kunnen worden. Daarnaast is het magazijn ook opgedeeld naar de verschillende bestemmingen. Zo zijn de 35 poorten aan één van de zijdes allemaal voorzien voor de verdeling van stukgoederen in België. De tegenoverliggende zijde is dan weer voor $\frac{3}{4}$ voor de kaaien van Duitsland voorzien en de overblijvende capaciteit hoofdzakelijk voor Nederland, Groot-Brittannië en Luxemburg.

De activiteiten met betrekking tot cross-docking zijn grotendeels in Genk en voor een klein deel in Antwerpen gelegen. Vermits in Antwerpen ook alle transporten van de haven binnenkomen en buitengaan, worden daar vooral de zeecontainers en zeetransporten gecross-dockt. Daarnaast gebeuren bijna alle wegtransporten vanuit Genk.

Om het aantal vrachtwagens dat onderweg is te verminderen, wordt nu ook gezocht naar een partner gelegen achter Gent. Het is dan de bedoeling 's morgens en 's avonds de trailers naar de partner in Gent te versturen, die dan de verdere verdeling verzorgt. Omdat nu nog de hele distributie vanuit Genk gebeurt, kan het voorkomen dat bijvoorbeeld 10 trailers naar de kust gestuurd moeten worden. Deze komen dan vaak terecht in files. Indien een partner in Gent gevonden wordt, zouden deze trailers veel efficiënter beladen kunnen worden waardoor minder trailers nodig zijn. In Gent kunnen

dan de trailers uitgeladen worden en de lading herverdeeld voor de uiteindelijke levering bij de klant.

Voor de transporten wordt ook gedeeltelijk gebruik gemaakt van het Europese partnernetwerk "System Alliance Europe". Dit is een Europees netwerk van familiale transportbedrijven met het doel door samen te werken ook efficiënter te kunnen werken. Zo wordt het ook mogelijk een vierentwintig uren service doorheen heel Europa aan te bieden. Om dit te kunnen bereiken, wordt gebruik gemaakt van het principe van koppelvervoer.

Bij koppelvervoer vertrekt bijvoorbeeld in de terminal van Genk om 8 uur een trailer naar München. Na ongeveer 4,5 uur rijden zal deze trailer op een parkeerterrein geplaatst worden. Vervolgens zal een Duitse partner deze trailer ophalen en in het verdere vervoer binnen Duitsland of nog verder voorzien. De Duitse partner laat zelf ook een volle trailer achter die in België gedistribueerd moet worden. Op deze wijze kan het ook voorkomen dat producten meerdere keren gecross-dockt worden voor ze hun eindbestemming bereiken. Daarnaast wordt niet alleen vermeden dat anders leeg teruggereden moet worden, maar vooral dat om 18 uur opnieuw een volle trailer gereed staat aan de cross-dock in Genk om verwerkt te worden. Op deze wijze kunnen dan de Duitse goederen in vierentwintig uur geleverd worden binnen België en hetzelfde geldt voor de Belgische goederen in Duitsland.

Bijna alle types van producten worden gecross-dockt. Dit varieert van levensgoederen, tapijten, kleding tot chemische producten en generatoren. Enkel gevaarlijke producten zoals cyanide en ontplofbare gassen worden niet vervoerd. Door de grote diversiteit aan producten moet ook de nodige zorg besteed worden aan het gescheiden houden van bepaalde goederen, zoals levensmiddelen en chemische producten. Dit is vereist om de veiligheid te verzekeren en om zo aan de nodige ISO voorschriften te voldoen. Tijdens drukke periodes kan dit dan ook problemen veroorzaken.

Net zoals bij de producten heeft Essers ook een grote diversiteit aan klanten. Een deel hiervan kan de orders elektronisch of via mail doorgeven. Dit zou normaal een dag op voorhand moeten gebeuren maar hier wordt vaak een uitzondering op gemaakt. Ook wordt bij een aantal vaste klanten, waar dagelijks of om de twee dagen transporten zijn, gewerkt met vaste afspraken. Voorbeelden hiervan zijn de magazijnen van Agfa Gevaert

en Atlas Copco waar respectievelijk dagelijks tussen de 8 en 14 en tussen de 3 en 11 trailers geladen moeten worden. Bij deze klanten is wel geweten dat goederen verzonden moeten worden, maar is vaak pas enkele uren voor het transport geweten hoeveel trailers nodig zullen zijn.

Een dag in het cross-dock centrum begint om 8 uur 's morgens en blijft doorlopen tot 8 uur de volgende morgen. Om 8 uur komen de charters binnen die de importgoederen voor België verzorgen. Dit zijn de goederen van partners die Essers zelf in België moet verdelen. Vanaf 15 uur komen vervolgens de wagens en opleggers terug met de stukgoederen die geëxporteerd moeten worden. Dit zou gedaan moeten zijn om 18 uur maar meestal loopt dit door tot 22 uur. Vanaf 17.30 worden dan de trailers voor export geladen. Dit moet om 19 uur gedaan zijn, omdat hetgeen dat daarna nog moet vertrekken de volgende morgen niet meer gelost kan worden. Immers, indien de aansluiting gemist wordt met de partner, zal deze alles pas de volgende dag bezorgen. Dit levert natuurlijk de nodige problemen op, vermits vaak met vastgelegde tijdsvensters gewerkt wordt.

Vervolgens moeten tussen 20 en 22 uur ongeveer 30 wagens vertrekken. Dit zijn de koppelwagens. Vanaf middernacht komen de eerste wagens al terug omdat deze dichterbij gekoppeld hebben. Dit worden de vierentwintig uren wagens in import genoemd. Deze hebben dan de ladingen van partners mee die dezelfde dag nog verdeeld moeten worden. Nadien komen ook de andere wagens terug die verder hebben moeten koppelen. Dit zijn dan de 48 uren wagens, waarvoor dus een dag extra beschikbaar is om te gaan lossen. Tenslotte worden tussen 4 en 8 uur de stukgoedwagens terug geladen met de goederen die in België verdeeld moeten worden.

Dat de belasting van de cross-dock varieert doorheen de dag is ook terug te vinden in het aantal lijsten dat afgewerkt wordt binnen een bepaalde werkpost. Zo werden in 2006 maandelijks gemiddeld 2.128 lijsten³⁹ afgewerkt gedurende de dagpost. Tijdens de avondpostpost bereikt het aantal lijsten een hoogtepunt met een gemiddelde van 3.075 lijsten hetgeen 45,05% hoger is. Dit daalt vervolgens weer tot 2.675 lijsten tijdens de

³⁹ Een lijst bevat alle zendingen die geladen of gelost moeten worden op of van een bepaalde trailer.

avondpost, hetgeen 26,12% meer is dan gedurende de dagpost. In totaal werden in 2006 maandelijks 34.917 dossiers⁴⁰ behandeld (zie ook bijlage 9).

Door de veranderende belasting van de cross-dock doorheen de dag, wordt voor de werkverdeling gewerkt met negen beginposten. Het aantal werknemers wordt vervolgens opgebouwd naar de drukte. Zo is om 8 uur het minste volk aanwezig, namelijk een zestal personen, in het magazijn. Dit wordt opgebouwd in de namiddag en plafonneert rond 22-23 uur met ongeveer 30 personen waarna alles terug langzaam afgebouwd wordt. Vanaf dan is minder personeel nodig omdat de stukgoedchauffeurs, dit zijn er 50 tot 60, hun eigen wagens laden.

De controle van deze ladingen gebeurt momenteel nog handmatig door de controle van de sticker die op elke lading kleeft. Hiervoor wordt dus geen gebruik gemaakt van RFID chips omdat deze nog steeds te hoge kosten veroorzaken. Momenteel wordt wel overgeschakeld op controles aan de hand van scanners waardoor gewoon de barcode gescand moet worden en zo de nodige gegevens verkregen worden.

Het grote voordeel van cross-docking voor Essers is dat hierdoor de beste combinaties van goederen gekozen kunnen worden en dus veel beter geladen kan worden. Zo worden de goederen eerst in de cross-dock neergezet, waarna deze herverdeeld kunnen worden. Indien alles enkel via voorladen zou gebruiken, moet steeds gezorgd worden dat de trailers ergens in de buurt opgevuld kunnen worden.

Ook hebben de goederen dankzij cross-docking een zeer korte doorlooptijd in de cross-dock. Zo verbleven 65,96% van de goederen minder dan 12 uur; 12,82% tussen 12 uur en 24 uur; 11,74% tussen 24 uur en 48 uur en 9,48% langer dan 48 uur in de cross-dock. In totaal verblijft dus 21,22% meer dan vierentwintig uur in de cross-dock. De grootste oorzaken hiervan zijn:

- De goederen zijn reeds afgehaald, maar de uitlevering moet pas enkele dagen later gebeuren
- Ontbrekende capaciteit voor koppelverkeer

⁴⁰ Een dossier is de opdracht die de klant geeft om goederen van een afhaaladres naar een afleveradres te transporteren en komt dus overeen met een zending. Een dossier zal daardoor eenmaal op een loslijst staan en éénmaal op een laadlijst. Op deze lijsten staan dan meerdere dossiers.

- Blokkering van de zending omwille van diverse redenen (onder meer door de douane, wanbetaling of schade)
- Door weekends en feestdagen, hierbij moet ook rekening gehouden worden met de buitenlandse feestdagen
- Ontbrekende zendinginformatie (verkeerde aflevergegevens, adressen, enz.)

Een nadeel, daarentegen, is dat de planning moeilijk verloopt doordat alles wordt gebundeld. Zo gebeurt het soms dat terwijl de export al geladen wordt, de goederen nog aan het binnenkomen zijn. Hierdoor zijn de aansluitingen zeer krap. De planning voor de export moet dan al gebeuren voordat de goederen binnen zijn. Zo kan het zelfs voorkomen dat de laadlijst al lang klaarligt terwijl de goederen nog bij de klant gehaald moeten worden. Dit kan dan problemen geven indien de opgegeven hoeveelheden niet kloppen. Als te veel opgegeven is, dan wordt inefficiënt gereden. Blijkt de lading echter groter te zijn dan opgegeven, dan zal mogelijk een extra trailer moeten nakomen. Bovendien kan de planning vaak pas zeer laat beginnen, vanaf 14 uur, en is het dan nog niet zeker wanneer alles binnenkomt vermits de trailers mogelijk vastzitten in een file.

Een ander nadeel bij cross-docking is dat hoe meer handeling nodig is, hoe groter de kans op schade en fouten wordt. Zo moet bij de verpakking van de goederen rekening gehouden worden dat meerdere keren in- en uitgeladen wordt, omdat de ladingen mogelijk meermaals gecross-dockt of herverdeeld worden. Zo wordt bijvoorbeeld het gebruik van kartonnen pallets afgeraden, vermits deze veel sneller beschadigt raken door het meervoudig verplaatsen. Bij Essers Transport Genk werd in 2006 bij 0,47% van de dossiers schade gemeld.

De grootste problemen met betrekking tot cross-docking blijven echter plaats en timing. Zo zou het magazijn bijna de helft van de dag leeg moeten staan zodat voor de transporten telkens een tegenoverliggende poort gebruikt zou kunnen worden. Echter, in praktijk zal het magazijn vaak vol staan op ogenblikken dat dit niet zou mogen. Dit was bijvoorbeeld het geval na het paasweekend. Gedurende deze periode werd in Duistland niet gereden maar kwamen wel steeds ladingen binnen.

Ook de timing kan problemen veroorzaken. Zoals reeds voordien opgemerkt, kan het voorkomen dat de aansluiting met een partner gemist wordt. Deze zal dan alles pas de volgende dag bezorgen. Daarbij komt dan nog eens dat soms boetes overeengekomen

worden met klanten in geval van te late leveringen. Om dit te verhinderen wordt regelmatig gebruik gemaakt van expreszendingen via onder meer luchttransport. Vooral bij autofabrikanten is de timing belangrijk. Daar zijn de goederen vaak onmiddellijk nodig omdat anders de band stilgelegd moet worden wegens een gebrek aan materiaal. In andere gevallen kan soms proactief samengewerkt worden met klant, waardoor een latere levering toch mogelijk wordt.

Daarnaast heeft Essers, in tegenstelling tot veel van zijn concurrenten, zich niet gespecialiseerd in één bepaald type van transport zoals enkel het transport van stukgoederen, deelpartijen of gewone vracht. Zo wordt bij de Duitse partners alles onder de 4 ton als stukgoederen gezien, dewelke gecross-dockt zullen worden. Echter, een volledig gevulde wagen zal in Duitsland niet snel door een magazijn gestuurd worden.

In Genk, daarentegen, worden niet alleen stukgoederen vervoerd. Omdat daar een grote eigen vloot ter beschikking staat, worden ook deelpartijen en andere transporten gedaan. Voor transport efficiënte redenen worden ook de deelpartijen over de cross-dock getrokken. Dit zal in Duitsland zelden gebeuren omdat daar een groter deel wordt uitbesteed. Dit komt omdat de beschikbare vloot daar vaak veel kleiner is. Bovendien ondervindt de dagprijs van de transporteur weinig invloed of nu 400 of 600 km gereden moet worden, vanwege de lage kilometertoeslag. In Duitsland wordt dan ook vooral slimmer voorgeladen. Zo worden bijvoorbeeld eerst 25 pallets voor plaats A geladen en nadien worden nog wat kleinere vrachten voor andere bestemmingen via de cross-dock geladen. Bij Essers wordt geladen volgens de route die gevolgd wordt. Het kan dus zijn dat eerst de kleine vrachten geladen worden en nadien pas de grote partijen. Vervolgens gaan dan ook de grote partijen over de cross-dock voor de herverdeling, hetgeen in Duitsland niet gebeurt. De nadruk ligt bij Essers dan ook op zo efficiënt mogelijk rijden.

Hoofdstuk VI: Conclusie

Om weerstand te kunnen bieden tegen de concurrentie gaan ondernemingen op zoek naar kostenbesparingen. Dit wordt onder meer gedaan door de kosten van activiteiten die geen waarde aan het product toevoegen te reduceren. Dit is dan ook het grote voordeel van cross-docking. Hierbij worden immers de kosten verlaagd door de eliminatie van de opslagfunctie van het magazijn, terwijl de ontvangst- en verzendfuncties blijven bestaan.

Bovendien kan cross-docking voor een stabielere productieplanning bij de producent zorgen, met eveneens een daling van het zweepslageffect. Daarnaast remt het ook de congestievorming op de weg af, dankzij de consolidatie van de lading.

Cross-docking heeft dat ook al enkele opmerkelijke successen geboekt. Zo wordt het aangegeven als één van de redenen waardoor Wal-Mart de grootste kleinhandelaar ter wereld is kunnen worden. In sommige gevallen zal cross-docking ook de lead tijd inkorten, hetgeen onder meer voor het Ford Motor Company's North American automobiel leveringssysteem grote besparingen betekende. Hier levert immers elke dag reductie van de gemiddelde leveringstijd een besparing van ongeveer \$260 miljoen in pijplijnvoorraad op.

Echter, soms zal de lead tijd juist toenemen doordat het inbound transport naar het cross-dock centrum nog steeds moet gebeuren. Door de langere lead tijd kan het voorkomen dat de winkels meer veiligheidsvoorraad gaan aanhouden, hetgeen hogere kosten kan veroorzaken dan bij de traditionele opslag in magazijnen.

Andere nadelen verbonden aan cross-docking zijn de beperking van de leverancierskeuze en de tijdsdruk op de transporten. Dit laatste is tevens een belangrijke oorzaak van falen bij cross-docking. Zo maakt onder meer de toename van de congestie op de weg het moeilijk om alle processen van cross-docking op elkaar af te stemmen. Verder doet cross-docking ook de flexibiliteit om de werkbelasting te spreiden sterk dalen. De totale belasting blijft mogelijk wel hetzelfde maar het werk tijdens de piekuren stijgt significant.

Daarnaast stelt cross-docking enkele vereisten. Zo zijn niet alle producten geschikt voor cross-docking. Een product is pas een goede kandidaat wanneer de vraag ernaar aan twee voorwaarden voldoet: een voldoende lage variatie en een hoog volume. Verder neemt onder meer het belang van partnerschappen met andere leden van de distributieketen sterk toe. Één van de problemen is immers de ongebalanceerde verdeling van de distributiekosten, voordelen en risico's over de diverse leden van de distributieketen. Andere problemen zijn de ongewildheid van handelspartners om informatie te delen, onvoldoende technologische capaciteiten van de partners om informatiedelen mogelijk te maken en eveneens een gebrek aan vertrouwen tussen handelspartners.

Om cross-docking efficiënter en effectiever te maken, wordt onderzoek gedaan naar goede beslissingssystemen. Deze concentreren zich vaak slechts op één van de drie grote optimalisatieproblemen bij cross-docking. Echter, het grote probleem bij de ontworpen modellen is dat ze moeilijk bruikbaar zijn in realistische situaties. In die gevallen is de benodigde berekeningstijd immers te hoog. Daarom wordt gebruik gemaakt van heuristieken die de optimale oplossing moeten benaderen. Ook hier blijven echter problemen omwille van een te lange berekeningstijd. In de toekomst zal dan ook meer onderzoek moeten gebeuren naar betere berekeningsmethodes om de modellen in praktijk beter te kunnen gebruiken.

Ook zal het gebruik van cross-docking in de toekomst sterk blijven groeien. Zo verwacht 79% van de verladers en 84% van de logistiek dienstverleners dat de cross-dock activiteiten de komende drie jaar zullen worden uitgebreid. Ter vergelijking: slechts 27% van de verladers en 40% van de logistiek dienstverleners verwacht dat de opslagactiviteiten toenemen. Hetgeen het belang van verder onderzoek naar cross-docking alleen maar doet toenemen.

Lijst van geraadpleegde werken

- Aarts E. (2002); "Aanjager onder de heuristische zoekmethoden"; Stator, periodiek van de Vereniging voor Statistiek en Operationele Research; 3:3, 16-18
- Abdolvand N. en Kurnia S. (2005); "The EPC Technology Implications on Cross-Docking"; San Diego International Systems Conference-2005 (online)
Geraadpleegd op 1 Juli 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: www-rohan.sdsu.edu/~bshin/archive2005/Emerging_Tech/Abdolvand_Kurnia.pdf
- Acar M.K. (2004); "Robust Dock Assignments at Less-Than-Truckload Terminals"; Ph.D thesis, University of South Florida. (online)
Geraadpleegd op 15 december 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://purl.fcla.edu/fcla/etd/SFE0000435>.
- Aichlmayr M. (2001); "Never Touching the Floor"; Transportation & Distribution; 42:9, 47-51
- Aickelin U., Adewunmi A. (2006); "Simulation optimization of the crossdock door assignment problem"; ASAP: Group Research Seminars 2005-2006; 10th May 2006 (online)
Geraadpleegd op 15 december 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: http://www.asap.cs.nott.ac.uk/publications/pdf/ors_crossdock_paper.pdf
- Bartholdi J. J., Gue K. R., Kang K. (2001): "Staging Freight in a Crossdock"; International Conference on Industrial Engineering and Production Mangement, Quebec City, augustus 2001 (online)
Geraadpleegd op 28 Oktober 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://web.nps.navy.mil/~krgue/Publications/iepm.pdf>
- Bartholdi J.J. en Gue K.R. (2000); "Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal"; Operations Research; 48:6, 823-832
- Bex G.J. (2000); "Genetische algoritmen" (online)
Geraadpleegd op 1 Mei 2007
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://alpha.uhasselt.be/~gjb/info/pubs/geneticAlgorithms.pdf>
- Beyer H. G., Brucherseifer E., Jakob W., Pohlheim H., Sendhoff B. en Binh T. (2007); "Evolutionary Algorithms - Terms and Definitions" (online)
Geraadpleegd op 1 mei 2007
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://ls11-www.cs.uni-dortmund.de/people/beyer/EA-glossary>

- Boktaeva B. en Kulikauskaite G. (2004); "Alternatives for Consumer Goods Distribution Direct Delivery and Cross Docking in SCA Hygiene Products"; Göteborg, Graduate Business School (online)
Geraadpleegd op 26 maart 2007
Dit document is consulteerbaar op:
URL: http://www.handels.gu.se/epc/archive/00003631/01/inlaga_2003_4.pdf
- Chen P., Guo y, Lim A., Rodrigues B. (2006); "Multiple crossdocks with inventory and time windows"; Computers & OR; 33: 43-63
- Donaldson H., Johnson E.L., Ratliff H.D., Zhang M. (1998); "Schedule-Driven Cross-Docking Networks"; Georgia Tech TLI Report (online)
Geraadpleegd op 14 november 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://www.yzu.edu.tw/yzu/rd/94stud/%E9%99%B3%E5%AE%B6%E5%92%8C%E8%AB%96%E6%96%87.doc>
- Gue K.R. (2001); "Crossdocking: Just-In-Time for Distribution" (online)
Geraadpleegd op 9 Juli 2006
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://web.nps.navy.mil/~krgue/Teaching/xdock-mba.pdf>
- Hertz A., Taillard E. en Werra D. (2007); "A tutorial on tabu search" (online)
Geraadpleegd op 23 april 2007
Dit document is consulteerbaar op:
URL: <http://www.cs.colostate.edu/~whitley/CS640/hertz92tutorial.pdf>
- Hooker J.N. en Ottosson G. (2003); "Logic-based benders decomposition"; Mathematical Programming, 96:33-60
- Jayaraman v. en Ross A. (2003); "A simulated annealing methodology to distribution network design and management." ; European Journal of Operational Research; 144:629-645
- Joslin D. E., Clements D. P. (1999); "Squeaky Wheel Optimization "; Journal of Artificial Intelligence Research; 10:353 - 373
- Lee Y.H., Jung J.W., Lee K.M. (2006); "Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain"; Computers & Industrial Engineering; 51, 247- 256
- Li Y., Lim A. en Rodrigues B. (2004); "Crossdocking-JIT scheduling with time windows"; Journal of the Operational Research Society; 55, 1342-1351
- Lim A., Ma H. en Miao Z. (2006); "Truck Dock Assignment Problem with Time Windows and Capacity Constraint in Transshipment Network Through Crossdocks"; ICCSA; 3, 688-697
- Lim A., Miao Z., Rodrigues B. en Xu Z. (2004); "Transshipment through Crossdocks with Inventory and Time Windows"; Tenth International Computing and Combinatorics Conference, Lecture Notes in Computer Science 3106 Springer, 122-131.

- Lindert M. (2006); "Dokken voor crossdocking"; Transport en Opslag; 30:9, 44-45
- Ratliff H.D., Van de Vate J., Zhang M. (2006): "Network Design for Load-driven Cross-docking Systems" (online)
Geraadpleegd op 16 december 2006
Dit document is consulterbaar op:
URL:
http://www.citad.net/Hemeroteca/Supply_Chain/Papers/Network%20Design%20for%20Load-driven%20Cross-docking%20Systems.pdf
- Rodrigue J.P. (2006); "Transportation and the Geographical and Functional Integration of Global Production Networks" (online)
Geraadpleegd op 31 augustus 2006
Dit document is consulterbaar op:
URL: http://people.hofstra.edu/faculty/Jean-paul_Rodrigue/downloads/JPR_Transport_GPN.pdf.
- Schaffer B. (2000); "Implementing a successful crossdocking operation"; Plant Engineering Magazine; 54:3, 128-133
- Specter S. P. (2004); "How to crossdock successfully; Modern Materials Handling"; 59:1, 42
- Stickel (2006); "Planung und Steuerung von Crossdocking-Zentren"
Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH), Band 69, Universitätsverlag Karlsruhe
- Stickel M. en Furmans K. (2005); "An Optimal Control Policy for Crossdocking Terminals" (online)
Geraadpleegd op 22 oktober 2006
Dit document is consulterbaar op:
URL: http://www.ifl.uni-karlsruhe.de/download/publikationen/an_optimal_controlpolicy_for_crossdockingterminals.pdf.
- Taylor J.C. en Fawcett S.E. (2001); "Retail on-shelf performance of advertised items: An assessment of supply chain effectiveness at the point of purchase"; Journal of Business Logistics, 22:1,73-89
- Terreri A. (2001); "Profiting from crossdocking"; Warehousing Management; 8:8, 29-34
- Ting C.-J., Weng W.-L. en Chen C.-H. (2004); "Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal"; The Fifth Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems, Gold Coast, Australia, December; 12-15
- Universiteit Utrecht (2004); "Geheeltallige LP Problemen" (online)
Geraadpleegd op 1 mei 2007
Dit document is consulterbaar op:
URL: <http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/opt/2004/Samenvatting14.pdf>

- Waller M. A., Cassady R.C., Ozmanet J. (2006); " Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain"; Transportation Research; 42, 359-382
- Williams H.P. (1993); "Model solving in mathematical programming"; Chichester; 49-50 en 332 – 338

Referenties

- Bermudez R. en Cole M.H. (2001); "A genetic algorithm approach to door assignments in breakbulk terminals." Technical Report MBTC-1102, Mack-Blackwell Transportation Center, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas.
- Napolitano M. (2000); "Making the Move to Cross Docking. A practical guide to planning, designing and implementing cross dock operation." Warehousing Education and Research Council, Illinois.
- Savelsberg M. en Sol M. (1995); "The general pickup and delivery problem."; Transportation Science 29, 17-29.
- Stickel M. en Metzelaers M. (2005); "Ein zentrales Steuerungsmodell für bestandslose Umschlagzentren"; Working paper, Universität Karlsruhe (TH), Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme.
- Toth P. en Vigo D. (2002); "The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications."; Philadelphia: SIAM.
- Tsui L. Y. en Chang C.-H. (1992); "An optimal solution to a dock door assignment problem."; Computers and Industrial Engineering 23, 283- 286.

Lijst van figuren

FIGUUR 1: WERKWIJZE CROSS-DOCK	12
FIGUUR 2: CROSS-DOCKING DISTRIBUTIECENTER	16
FIGUUR 3: WMS DIE EEN CROSS-DOCK STRATEGIE ONDERSTEUNEN	32
FIGUUR 4: DE VERSCHILLENDE COÖRDINATIEPROBLEMEN	37
FIGUUR 5: USPS GEAUTOMATISEERDE DISTRIBUTIECENTRA	47
FIGUUR 6: VOORBEELD VAN EEN CROSS-DOCK NETWERK	50
FIGUUR 7: VOORBEELD VAN CONSTRUCTIE VAN INITIËLE OPLOSSING	51
FIGUUR 8: VOORBEELD VAN HET GENEREREN VAN EEN AANGRENZENDE OPLOSSING	52
FIGUUR 9: DE TOTALE SYSTEEMKOSTEN TEGENOVER VERSCHILLENDE VRAAGNIVEAUS BIJ EEN ROUTE	55
FIGUUR 10: TOTALE SYSTEEMKOSTEN TEGENOVER DE VOERTUIGWERKINGSKOSTEN PER EENHEID	56
FIGUUR 11: TOTALE SYSTEEMKOSTEN TEGENOVER DE VOORRAADKOSTEN	56
FIGUUR 12: VOORBEELD VAN DE LAY-OUT VAN EEN CROSS-DOCKING CENTRUM	58
FIGUUR 13: EFFECT VAN HET AANTAL TRAILERS/DOCKS OP HET AANTAL VARIABELEN	62
FIGUUR 14: EFFECT VAN AANTAL TRAILERS/DOCKS OP HET AANTAL BEPERKINGEN	62
FIGUUR 15: CROSS-DOCK TOPOLOGY	65
FIGUUR 16: DE INITIËLE POPULATIE (•) WEERGEGEVEN IN DE OMGEVING	93
FIGUUR 17: DE KANS DAT EEN INDIVIDU $P(i)$ GESELECTEERD WORDT	94
FIGUUR 18: DE CONSTRUEER/ANALYSEER/PRIORITEREN CYCLUS	97

Lijst van tabellen

TABEL 1: STOCK-OUT KOSTEN TEGENOVER VRAAG NAAR HET PRODUCT	23
TABEL 2: OVERZICHT VAN VOORDELEN, KOSTEN EN RISICOVERDELING	26
TABEL 3: LOOPTIJD VOOR VERSCHILLENDE PROBLEEMGROOTTES	38
TABEL 4: LOOPTIJD VOOR VERSCHILLENDE PROBLEEMGROOTTES VOOR HET OPGESPLITSTE MODEL	39
TABEL 5: RESULTATEN VAN TESTEN OP KLEINE SCHAAL	66
TABEL 6: RESULTATEN VAN TESTEN OP GROTE SCHAAL	66
TABEL 7: SELECTIE SCHEMA	94

Bijlagen

Bijlage 1: Branch-and-bound

Bijlage 2: Simulated annealing

Bijlage 3: Tabu search

Bijlage 4: Polynomiale tijd

Bijlage 5: Genetische algoritmen

Bijlage 6: Squeaky Wheel Optimization

Bijlage 7: Input voor het originele model

Bijlage 8: Input en output van het vereenvoudigde model

Bijlage 9: Gegevens Essers Transport Genk

Bijlage 1: Branch-and-bound

Bij "branch-and-bound" wordt de oplossingsruimte S van het probleem opgesplitst in deelverzamelingen S_1, \dots, S_k . Deze deelverzamelingen worden beschreven door extra voorwaarden aan de oplossingsverzameling, die "knoop" genoemd wordt, op te leggen. De verdere opsplitsing van de knoop wordt aangeduid door uit de knoop 'takken' te laten lopen naar de deelpunten, waardoor een 'boom' ontstaat.

Dit proces van opsplitsen wordt 'branching' genoemd, en wordt gestuurd door de zogenaamde branchingstrategie. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden, bijv. in geval van een binaire variabele x_j wordt de voorwaarde $x_j = 0$ toegevoegd in de ene tak (die leidt naar een knoop die correspondeert met deelverzameling S_1) en $x_j = 1$ in de andere tak (die leidt naar de knoop corresponderend met deelverzameling S_2). Vervolgens wordt de LP-relaxatie weer opgelost per knoop, eventueel met toevoeging van extra sneden enz. De hoop is natuurlijk dat niet te veel opsplitsingen van S gemaakt moeten worden voordat het probleem optimaal opgelost is. Hierbij gaat het erom dat een knoop snel 'afgekapt' kan worden. Dit gebeurt wanneer het optimum voor de corresponderende deelverzameling bepaald is, of wanneer deze deelverzameling niet interessant blijkt te zijn. Redenen om een knoop af te kappen zijn:

- De oplossing van de LP-relaxatie in de knoop is geheeltallig. Dit impliceert dat de beste oplossing van het ILP-probleem binnen de ingeperkte oplossingsruimte gevonden is.
- Het toegelaten gebied is leeg, doordat de voorwaarden die bij het branchen opgelegd werden, een toegelaten oplossing uitsluiten.
- De waarde van de LP-relaxatie is \geq aan de waarde van een bekende oplossing.

Ter verduidelijking van het laatste geval: bij minimalisatie van de waarde van de LP-relaxatie zal deze waarde nooit groter zijn dan de waarde van het ILP. Immers, alle toegelaten oplossingen van het ILP probleem zijn ook toegelaten oplossingen van de LP-relaxatie, maar andersom geldt dit niet. Daarom is ook zeker dat de optimale oplossing van het ILP in die knoop (dus voor dat deel van de oplossingsruimte) \geq uitkomstwaarde LP-relaxatie in die knoop \geq waarde van een bekende, toegelaten oplossing van het ILP-probleem. Dus iedere toegelaten oplossing in die knoop wordt gedomineerd door deze reeds gevonden oplossing, en daarom kan dit deel van de oplossingsruimte afgekapt worden. Dit principe wordt 'bounding' genoemd. (Universiteit Utrecht; 2004)

Bijlage 2: Simulated annealing

Aarts (2002) omschrijft simulated annealing als een heuristische zoekmethode die wordt toegepast om discrete optimalisatieproblemen aan te pakken. Het succes van de methode is vooral te danken aan haar eenvoud en kracht, naast het feit dat ze op een brede schaal toepasbaar is. Echter, de waarde van de methode is niet zozeer gelegen in haar vermogen om problemen aan te pakken, maar meer in de rol die de aanpak gespeeld heeft bij de ontwikkeling van nieuwe heuristische zoekmethoden.

Simulated annealing is in 1982 bekend geraakt door de publicatie van een artikel door Kirkpatrick, Gelatt & Vecchi in het tijdschrift "*Science*". Deze hadden zich gebaseerd op een analogie met het fysische annealingproces, waarin een vaste stof die tot smelten is gebracht uiterst langzaam wordt afgekoeld. Hierdoor kunnen de atomen zich ordenen in een atoom- of moleculenrooster dat correspondeert met de laagst mogelijke energie, hetgeen tot zeer hechte structuren leidt.

De gevolgde aanpak gaat uit van een startoplossing en genereert vervolgens een rij oplossingen. Door een bestaande oplossing lichtjes te veranderen, wordt een kandidaat-oplossing gegenereerd. De kosten van de twee oplossingen worden onderling vergeleken. Als de kosten van de kandidaat-oplossing lager zijn dan de kosten van de huidige oplossing wordt de huidige oplossing vervangen door de kandidaat-oplossing. Als de kosten hoger zijn, wordt de kandidaat-oplossing geaccepteerd met een waarschijnlijkheid die afhangt van het kostenverschil en van de waarde van een stuurparameter (t), die het equivalent is van de temperatuur in het fysische annealingproces (Aarts; 2002). De formule die hiervoor meestal gebruikt wordt heeft de volgende vorm:

$$P(\delta) = \exp(-\delta / k \cdot t)$$

Hierbij stelt δ het absolute kostenverschil voor indien de kosten van de kandidaat-oplossing hoger zijn. Daarnaast is k een constante en t de temperatuur op dat ogenblik. Naarmate de berekeningen vorderen zal de temperatuur verlaagd worden totdat deze de stopwaarde bereikt.

De aanvaarding van een slechtere oplossing zal dan toegestaan worden met een kans van $P(\delta)$. Dit kan toegepast worden via de generatie van een willekeurig nummer tussen

0 en 1. Vervolgens wordt de kandidaat-oplossing aanvaard indien het verkregen willekeurige nummer binnen $P(\delta)$ valt (Williams; 1993).

De directe invloed van t op de berekening is dat simulated annealing het weliswaar toestaat om toestandsovergangen te hebben waarbij de waardering slechter wordt, maar wel steeds minder naarmate de tijd vordert. Dat wil zeggen, naarmate t een lagere waarde krijgt, wordt de kans op acceptatie van een overgang naar een toestand met een hogere waardering kleiner. Het "simulated annealing" algoritme probeert zo te verhinderen dat het algoritme in een lokaal minimum blijft steken. Dit is immers soms een probleem bij andere algoritmes. (Aarts; 2002)

Bijlage 3: Tabu search

Hertz et al (2007) bespreken de tabu search methode. Zo is tabu search een metaheuristisch optimalisatiealgoritme bedacht door Fred Glover. Het zorgt voor "neighbourhood" veranderingen, waarbij ook bewegingen die een daling in de waarde van de doelfunctie veroorzaken toegelaten worden.

Het systematisch gebruik van een "geheugen" is een essentieel kenmerk van tabu search. Immers, om de efficiëntie van het zoekproces te verbeteren, moet niet enkel de lokale informatie bijgehouden worden, zoals de huidige waarde van de doelfunctie, maar ook informatie gerelateerd met het zoekproces.

Echter, veel zoekprocedures houden enkel de essentiële optimale waarde van de beste oplossing bij, terwijl tabu search ook informatie bijhoudt over de reeds afgelegde weg tot de laatst bezochte oplossing. Deze informatie zal dan gebruikt worden voor het bepalen van de volgende oplossing. De rol van het geheugen is de keuze te beperken tot een bepaalde deelset van de "buurt", door het verbieden van bewegingen naar bepaalde naburige oplossingen.

Immers, in sommige gevallen kunnen methodes vastlopen in een lokaal minimum, dat ver van het globale minimum kan liggen. Om dit te verhinderen worden in bepaalde gevallen ook niet-verbeterende bewegingen toegelaten (waarbij de waarde van de nieuwe oplossing lager ligt dan de huidige oplossing) door gewoon de beste buur te nemen.

Vanaf het ogenblik dat niet verbeterende bewegingen gedaan worden, bestaat echter het risico dat een oplossing opnieuw bezocht gaat worden en een cyclus ontstaat. Op dit punt komt dan ook een geheugen van pas dat bewegingen verbiedt die mogelijk leiden tot een recentelijk bezochte oplossing.

Het werkingsprincipe van tabu search heeft volgende vorm:

- 1) Kies een initiële oplossing en bepaal hoe goed die oplossing is;
- 2) Bepaal de naburige oplossingen die niet "taboe" zijn en bepaal hoe goed deze zijn;
- 3) Kies de beste naburige oplossing en plaats de vorige oplossing in de "taboe" lijst;

- 4) Als de nieuwe oplossing beter is dan de huidige optimale oplossing, onthoudt dan de nieuwe oplossing;
- 5) Blijft dit herhalen tot de stopconditie vervuld is.

Voor de initiële oplossing wordt een willekeurige oplossing gekozen of wordt een specifieke oplossing bepaald die al een redelijk resultaat geeft. Dit kan bijvoorbeeld de beste oplossing zijn die verkregen werd via een genetisch algoritme of simulated annealing.

Daarnaast wordt op twee verschillende manieren een vorige oplossing taboe verklaard. Één daarvan is door bij te houden welke oplossingen Tabu search allemaal al gekozen heeft. Het grote nadeel van deze methode is dat het veel opslagruimte vergt en slechts één oplossing per keer taboe maakt.

Een andere veel gebruikte methode is een Tabu lijst gebaseerd op recente veranderingen. In deze Tabu lijst worden de verschillen tussen twee opeenvolgende oplossingen voor een bepaald aantal iteraties opgeslagen. De idee hierachter is dat wanneer het algoritme een bepaalde stap heeft genomen in de oplossingsruimte die (zeer) voordelig was, deze stap in de nabije toekomst waarschijnlijk niet ongedaan gemaakt moet worden. Het is daarom niet noodzakelijk om de buuroplossing, verkregen door één van de stappen in de Tabu lijst, te nemen voor één van de volgende iteraties. Dit scheelt dan weer rekentijd. Het nadeel van deze methode is echter dat je een extra parameter krijgt, namelijk de lengte van de Tabu lijst. Als deze te lang wordt gekozen, dan kan Tabu search geen naburige oplossingen vinden en zal het stoppen met een redelijk slechte oplossing. Als het echter te kort gekozen wordt dan zal Tabu search rondom een lokaal minimum blijven hangen.

De lengte van de lijst wordt ook wel "tabu tenure" genoemd. Variabelen die deel hebben uitgemaakt van de oplossingen krijgen een boete. Deze boete is afhankelijk van het aantal oplossingen waarvan ze deel uitmaakten. Hierdoor wordt het voor deze variabelen zwaarder om terug in de oplossing opgenomen te worden en makkelijker om uit de oplossing gelaten te worden. Wanneer een nieuwe toegelaten oplossing gevonden wordt, wordt deze aan de tabu lijst toegevoegd terwijl de laatste oplossing uit de lijst verwijderd wordt.

Bijlage 4: Polynomiale tijd

Volgens Williams (1993) wordt een algoritme in polynomiale tijd uitgevoerd indien de benodigde tijd begrensd wordt door een polynoom. Polynomiale tijd wordt vaak genoteerd als $f(n) = O(nr)$ waarbij n de grootte van de invoer weergeeft, O is de complexiteitsgraad⁴¹ van een bepaald algoritme en r is een constante die per probleem kan verschillen. Hierbij is dus de snelheid van de groei van $f(n)$ van belang.

Een polynoom, of veelterm, in één variabele x is een wiskundige uitdrukking van de vorm:

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Hierbij is n een natuurlijk getal. Een polynoom is dus een uitdrukking waarin enkel de twee basisbewerkingen van de rekenkunde, optelling en vermenigvuldiging, een eindig aantal keren in voorkomen, of die op die manier herschreven kunnen worden.

Voorbeelden van polynomiale tijd zijn:

- Constante tijd of $O(1)$

Het uitvoeren van zo een algoritme vereist een constante hoeveelheid tijd ongeacht de grootte van de invoer. Voorbeelden hiervan zijn het opvragen van het eerste element van een lijst of het controleren of een natuurlijk getal in binaire notatie even is.

- Lineaire tijd of $O(n)$

Hierbij hangt de benodigde tijd lineair af van de grootte van de invoer. Het kan zijn dat de gehele invoer doorlopen moet worden om tot een oplossing te komen. Voorbeelden hiervan zijn het optellen van een lijst gehele getallen of het opzoeken van een letter in een reeks tekens. Bij het tweede voorbeeld is het niet noodzakelijk dat de gehele invoer wordt doorlopen. Immers, indien de letter aan het begin van de reeks staat, dan heeft het algoritme eerder gedaan. Dit is toegestaan volgens de definitie van $O(n)$ aangezien

⁴¹ De complexiteitsgraad van een bepaald algoritme is de manier waarop dat algoritme zich gedraagt als de grootte van het op te lossen probleem toeneemt

de tijd van het algoritme begrensd wordt door een lineaire functie. Elk probleem waarbij de gehele invoer nodig is om het antwoord te berekenen vereist ten minste lineaire tijd aangezien het doorlopen van de invoer in lineaire tijd verloopt.

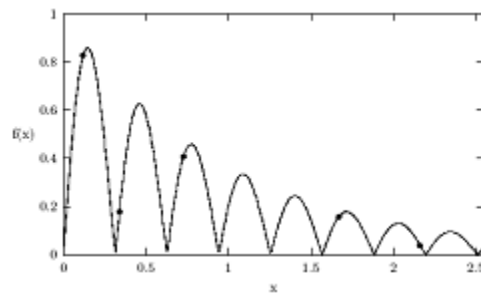
Een algoritme dat in polynomiale tijd uitgevoerd wordt, wordt doorgaans gezien als "snel". Dit in tegenstelling tot super-polynomiale algoritmen die meer tijd vergen dan polynomiale algoritmen. Een voorbeeld van super-polynomiale tijd is exponentiële tijd, waarbij $f(n) = O(a^n)$. Zo is, bijvoorbeeld, n^2 polynomiaal, terwijl 2^n exponentieel is.

Bijlage 5: Genetische algoritmen

Het genetische algoritme is een optimalisatietechniek die gebaseerd is op het principe van de Darwinistische evolutietheorie, namelijk "survival of the fittest". Om tot een oplossing te komen doorloopt een genetisch algoritme de volgende stappen:

- initialisatie
- selectie
- reproductie

Bex (2000) verklaart het werkingsprincipe van genetische algoritmen aan de hand van een eenvoudig voorbeeld. Bij optimalisatieproblemen speelt de omgeving een belangrijke rol, dit is namelijk de functie waarvan bijvoorbeeld het maximum bepaald moet worden. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 16.



Figuur 16: De initiële populatie (•) weergegeven in de omgeving⁴²

Initialisatie

Om met het genetisch algoritme te kunnen beginnen, worden eerst verschillende oplossingen gegenereerd. Deze oplossingen zijn, afhankelijk van het probleem, één of meerdere getallen die meestal willekeurig gekozen zijn. Zo zou een populatie die de "omgeving" bewoont gevormd kunnen worden door een verzameling getallen tussen 0 en 2,55. De individuen, m.a.w. de getallen, die de grootste functiewaarde opleveren als argument van de functie zijn het best aangepast aan hun omgeving. Indien dus een verzameling van N willekeurige getallen gekozen wordt, vormt deze de initiële populatie $P^{(0)}$, bijvoorbeeld $P^{(0)} = \{0,12; 0,34; 0,73; 1,67; 2,16\}$. Deze initiële populatie wordt in de figuur 16 voorgesteld door de punten "•" op de functie.

⁴² (Bex; 2000)

Één van deze getallen zal de hoogste functiewaarde opleveren, dit is dan ook het beste aangepaste individu. In het bovenstaande voorbeeld leveren de individuen in $P^{(0)}$ respectievelijk de volgende benaderende functiewaarden op: $\{0,83; 0,18; 0,41; 0,16; 0,04\}$. De functiewaarde noemen we de "fitness" f_i van het individu P_i , $\forall i: 1, \dots, N$.

Vermits het individu "0,12" de hoogste fitness waarde heeft, namelijk "0,83", is deze ook het best aan zijn omgeving aangepast. Hierdoor zal het dus gegarandeerd in de volgende generatie voorkomen. Dankzij dit mechanisme is het dus zeker dat de fitness van het best aangepaste individu uit een generatie $P^{(t)}$ minstens zo goed is als de fitness van het beste uit de vorige generatie $P^{(t-1)}$. De maximale fitness kan dus nooit dalen.

Selectie

Voor de selectie wordt gebruik gemaakt van de fitness waarde. Deze waarde geeft immers aan hoe goed de oplossing is in vergelijking met de anderen en een beoogde optimale oplossing. Net zoals in de evolutietheorie is de idee dat de beteren overleven. Op basis van deze fitnesswaarden wordt de grootte van de populatie verminderd. Dit kan bijvoorbeeld door eerst de som "F" van de fitnesswaarden f_i van alle individuen te berekenen volgens:

$$F = \sum_{i=1}^N f_i$$

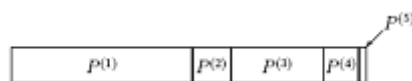
Vervolgens wordt voor elk individu $P^{(i)}$ de volgende grootte berekend:

$$s_i = \frac{1}{F} \sum_{k=1}^i f_k$$

Hierdoor geldt per definitie dat $0 \leq s_j \leq 1$ en $s_N = 1$. Dit is uitgewerkt in tabel 7 voor de voorbeeldpopulatie.

Tabel 7: selectie schema

Individu P_i	f_i	$\sum_{k=1}^i f_k$	s_i
00001100	0,83	0,83	0,51
00010010	0,18	1,01	0,62
01001001	0,41	1,42	0,88
10100111	0,16	1,58	0,98
11011000	0,04	1,62	1,00



Figuur 17: de kans dat een individu $P(i)$ geselecteerd wordt

Indien nu een uniform verdeeld toevalsgetal “ ρ ” gelegen tussen 0 en 1 gekozen wordt, dan kan het individu $P^{(i)}$ geselecteerd worden waarvoor $s_{i-1} < \rho \leq s_i$ ($s_0 = 0$). Dit is grafisch voorgesteld in figuur 17. Hierbij geeft de grootte van de rechthoeken de kans weer dat een individu $P^{(i)}$ gekozen wordt. Op deze manier hebben individuen met een grotere fitness f_i ook een hogere kans om geselecteerd te worden voor de volgende generatie.

Reproductie

Om de populatie weer op de oude grootte te krijgen, dienen de oplossingen zich te reproduceren. Dit kan met behulp van mutatie en recombinatie. Hiervoor wordt de n -bit binaire voorstelling van de getallen gebruikt. Voor het hier gegeven voorbeeld zouden de getallen tussen 0 en 2.55 voorgesteld kunnen worden met behulp van 8 bits. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

0.00 → 00000000	0.73 → 01001001
0.12 → 00001100	1.67 → 10100111
0.34 → 00010010	2.16 → 11011000

De individuen worden dus gecodeerd als een string van discrete waarden 0 en 1, naar analogie met een DNA keten opgebouwd uit combinaties van vier aminozuren. Dit verklaart meteen de term “genetisch algoritme”.

Bij recombinatie worden twee oplossingen gecombineerd om twee nieuwe oplossingen te maken. Dit kan bijvoorbeeld door “crossover”. Hiervoor worden twee individuen P_k en P_l gekozen uit generatie $P^{(t)}$ en een getal m tussen 1 en $n - 1$, het zogenaamde crossover punt. Dit levert twee nieuwe individuen op voor de volgende generatie $P^{(t+1)}$ waarvan het ene de m eerste bits heeft van individu P_k en de $n - m$ laatste bits van individu P_l . Het tweede nieuwe individu heeft de eerste m bits van P_l en de laatste $n - m$ bits van P_k . Het volgende voorbeeld waar $m = 5$ verduidelijkt dit:

$$\left. \begin{array}{l} 001011100 \\ 110011111 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{crossover}} \left\{ \begin{array}{l} 001011111 \\ 110011100 \end{array} \right.$$

Elk paar ouders uit generatie $P^{(t)}$ heeft dus twee nakomelingen in generatie $P^{(t+1)}$ die elk een gedeelte van de genetische eigenschappen van elk van de ouders erven. Crossover treedt echter niet steeds op. De kans dat het proces plaatsvindt, wordt gegeven door $0 \leq p_{\text{crossover}} \leq 1$.

Het mutatiemechanisme is in deze bitrepresentatie zeer eenvoudig voor te stellen: bij een individu uit generatie $P^{(t)}$ wordt een willekeurige bit m tussen 1 en n geselecteerd en deze wordt "geflipt", m.a.w. een 1 wordt een 0 en vice versa. Zo ontstaat een individu voor generatie $P^{(t+1)}$. Het volgende voorbeeld illustreert dit voor $m = 4$:

$$0011011100 \xrightarrow{\text{mutatie}} 0011111100$$

De kans dat een mutatie optreedt wordt gegeven door $0 \leq p_{\text{mutatie}} \leq 1$.

In dit genetisch algoritme geldt voor de opeenvolgende generaties steeds dat het aantal individuen in elke generatie steeds gelijk is, de populaties blijven even groot.

Soms worden de beste oplossingen uitgesloten van crossover en mutatie. Zij gaan dan onveranderd door naar de volgende generatie. Deze strategie heet de elite selectie strategie. Dit proces wordt herhaald tot de populatie even groot is als de vorige generatie.

Bijlage 6: Squeaky Wheel Optimization

Squeaky wheel optimalisatie (SWO) is, net als tabu search en simulated annealing, een metaheuristiek. Deze methode kan op veel problemen toegepast worden, maar is vooral gepast voor problemen met complexe doelfuncties waar snel resultaten van een goede kwaliteit nodig zijn.

De kern van SWO is een construeer/analyseer/prioriteren cyclus. Eerst wordt een prioriteitsvolgorde van probleemelementen gegeven aan een greedy algoritme dat vervolgens een oplossing construeert. Die oplossing wordt dan geanalyseerd om probleempunten te vinden. Dit zijn elementen die, indien ze verbeterd worden, waarschijnlijk het resultaat van de doelfunctie gaan verbeteren. De prioriteit, van de elementen die probleempunten zijn, wordt dan verhoogd (krijgen een "blaam") en de nieuwe prioriteiten volgorde wordt dan aan de greedy constructeur gegeven. Bijgevolg zullen deze elementen dan bij een volgende behandeling waarschijnlijk beter behandeld worden. Deze construeer/analyseer/prioriteren cyclus blijft doorlopen tot een bepaalde limiet bereikt wordt, of een aanvaardbare oplossing gevonden is.



Figuur 18: De construeer/analyseer/prioriteren cyclus⁴³

De constructie, analyse en het prioriteren gebeuren allemaal in termen van de elementen die het probleem domein definiëren. Bij een planningsprobleem, bijvoorbeeld, kunnen deze elementen mogelijk de "taken" zijn.

De squeaky wheel methode vindt op deze wijze snel hoge kwaliteitso oplossingen. Dit komt doordat het zoeken in twee vlakken gebeurt, namelijk het traditionele oplossingsvlak en het nieuwe prioriteitsvlak, en doordat veel van de problemen die lokale zoektechnieken vaak tegenkomen vermeden worden. Hierdoor kan de squeaky wheel methode effectief grote bewegingen maken om zich snel uit weinig belovende

⁴³ (Joslin en Clements; 1993)

regio's te begeven van de zoekruimte. Ook leert de construeer/analyseer/prioriteren cyclus terwijl deze uitgevoerd wordt. Immers, de probleemelementen die moeilijk te behandelen zijn, hebben de neiging te stijgen in de rij volgens de prioriteiten, terwijl de makkelijk te behandelen elementen juist dalen.

De drie hoofdcomponenten van SWO zijn dus:

- Construeren: gegeven de sequentie van probleemelementen, genereert de constructor een oplossing via een greedy algoritme zonder backtracking. De sequentie bepaalt dan de volgorde waarin de beslissingen gemaakt worden.
- Analyseren: numerieke "blaamfactoren" worden toegewezen aan de probleemelementen die bijdragen tot gebreken in de huidige oplossingen. Bijvoorbeeld, indien het doel is de laetheid te minimaliseren bij een planningsprobleem, dan zal een blaam toegewezen worden aan de taken die te laat gedaan zijn.
- Prioriteren: hierbij worden de blaamfactoren, die bij het analyseren toegewezen werden, gebruikt om de volgorde van de probleemelementen aan te passen. De elementen die een "blaam" krijgen, worden naar de voorkant van de sequentie verplaatst. Hoe hoger de blaam, des te verder wordt het element verplaatst.

De prioriteitssequentie speelt een sleutelrol bij SWO. Wanneer een probleemelement voorwaarts verplaatst wordt in de sequentie, zal het eerder behandeld worden door de constructor. Hierdoor zou het dan ook beter behandeld moeten worden, waardoor de blaam factor zal dalen. Na verdere iteraties, zal de behandeling opnieuw onvoldoende zijn en de blaam terug stijgen. Hierdoor zal dan het element weer voorwaarts bewegen in de sequentie. De gemakkelijk te behandelen elementen blijven echter terugzakken naar het einde van de sequentie en blijven daar.

Ook kan de oplossing die verkregen wordt via SWO probleemstructuren zichtbaar maken. Door de analyse van de oplossing, kunnen vaak de elementen geïdentificeerd worden die bij die oplossing goed werken, en andere die slecht werken. Een werkmiddel dat, bijvoorbeeld, op volle capaciteit gebruikt wordt, stelt mogelijk een bottleneck voor. Deze informatie over de probleemstructuur is lokaal, omdat het mogelijk enkel van toepassing is op het onderdeel van de onderzoeksruijme dat momenteel onderzocht wordt, maar kan bruikbaar zijn om te bepalen waar vervolgens gezocht moet worden. (Joslin en Clements; 1993)

Bijlage 8: Input en output van het vereenvoudigd model

Input

Producten		Tmin	Tmax				
PR1		2	19				
PR2							
		Tijd				Tijd	
		DS(i)	DE(i)			PS (j)	PE(j)
	Levering	start	einde		Afhaling	start	einde
	D1	2	2		P0	2	2
	D2	2	2		P1	2	2
Taak	Product	DA(i,r)			Taak	Product	PA (j,r)
		Aantal					Aantal
D1	PR1	6			P1	PR1	4
	PR2	0				PR2	0
D2	PR1	3			P2	PR1	0
	PR2	5				PR2	2
C	CAP	COST	afstand leverancier tot crossdock		afstand afnemer tot crossdock		
Crossdock	Capaciteit	Handelingskost	D1	D2	P1	P2	
C1	95	12	30	20	16	8	
C2	144	15	15	18	5	11	

Output

X				Y				Z			
D1	C1	T0	0	P1	C1	T0	0	C1	PR1	T0	0
D1	C1	T1	0	P1	C1	T1	0	C1	PR1	T1	3
D1	C2	T0	0	P1	C2	T0	0	C1	PR2	T0	0
D1	C2	T1	1	P1	C2	T1	1	C1	PR2	T1	3
D2	C1	T0	0	P2	C1	T0	0	C2	PR1	T0	0
D2	C1	T1	1	P2	C1	T1	1	C2	PR1	T1	2
D2	C2	T0	0	P2	C2	T0	0	C2	PR2	T0	0
D2	C2	T1	0	P2	C2	T1	0	C2	PR2	T1	0

Bijlage 9: Gegevens Essers Transport Genk

	Afgewerkte lijsten in 2006				aantal dossiers ⁴⁴	aantal schadegevallen
	Dagpost	Avondpost	Nachtpost	Totaal		
januari	2099	3076	2433	7608	67063	358
februari	2021	2966	2599	7586	69934	331
maart	2340	3507	2801	8648	80270	504
april	2064	2891	2629	7584	67496	337
mei	2109	2983	2832	7924	72822	381
juni	2087	3116	2987	8190	71984	394
juli	2068	2857	2551	7476	65617	359
augustus	1841	3169	2361	7371	60039	209
september	2319	3135	2909	8363	72565	246
oktober	2401	3323	2842	8566	76206	355
november	2361	3181	2694	8236	73311	258
december	1823	2698	2459	6980	60706	170
Totaal	25533	36902	32097	94532	838013	3902

	Doorlooptijden				Totaal
	< 12u	tss 12 en 24u	tss 24 en 48u	> 48u	
januari	8840	1449	1653	1321	13263
februari	8895	1695	1568	1444	13602
maart	10174	2336	1913	1522	15945
april	7225	1615	1551	1052	11443
mei	8665	1892	1554	1478	13589
juni	7840	1670	1472	985	11967
juli	7051	1426	1337	1164	10978
augustus	6714	1199	1139	1134	10186
september	8257	1706	1353	1082	12398
oktober	8599	1571	1552	1070	12792
november	8342	1401	1235	987	11965
december	6893	995	1019	776	9683
Totaal	97495	18955	17346	14015	147811
	65,96%	12,82%	11,74%	9,48%	100,00%

⁴⁴ Opgelet, het aantal dossiers is dubbel geteld. Hierbij wordt het aantal dossiers geteld die geladen werden en het aantal dossiers gelost binnen de maand. Logischerwijze wordt een zending eenmaal gelost en daarna terug geladen.

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Beslissingssystemen voor crossdocking met tijdsvensters

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2007**

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.

Ik ga akkoord,

Bart BAMPS

Datum: **02.06.2007**