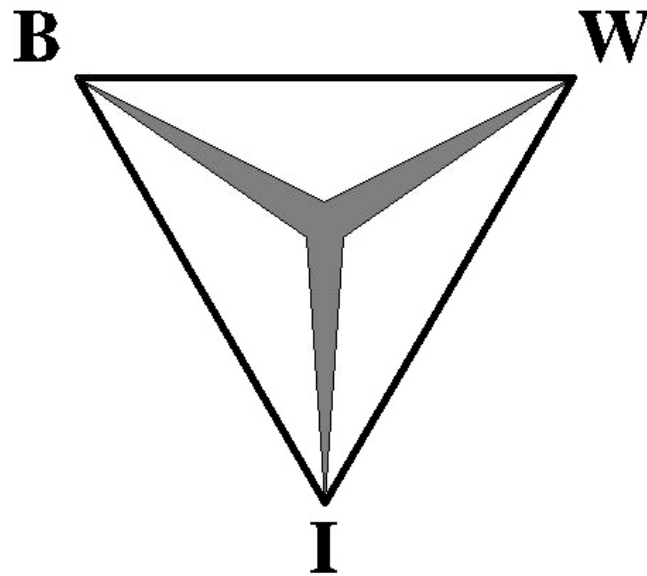


‘Cross-Docking’



‘In theorie en in praktijk bij ‘Albert Heijn’

BWI werkstuk
Melvin van Dam
Augustus ‘03

Voorwoord

Eén van de laatste onderdelen van de studie BWI is het schrijven van een BWI-werkstuk. In dit werkstuk moeten tenminste 2 van de 3 disciplines Bedrijfskunde, Wiskunde en Informatica naar voren komen. Aan de hand van een vraagstelling wordt een onderzoek verricht. Doel van het werkstuk is voor een deskundige manager op een heldere wijze een probleem omschrijven.

Met dit in het achterhoofd ben ik op zoek gegaan naar een geschikt onderwerp. Na overleg met mevr. M. Maëla van het stagebureau bleek dat het onderwerp 'cross-docking' nog open stond. Ik wist niet veel van cross-docking, behalve dat het bij Albert Heijn wordt toegepast. Ik probeer altijd om behalve de theorie ook de praktijk te belichten. Daarom heb ik besloten cross-docking als onderwerp te nemen en informatie bij Albert Heijn in te winnen over de praktijk. Daarnaast heb ik ook gekeken naar de optimale vorm van een cross-dock.

Mijn dank gaat uit naar de mensen bij Albert Heijn die de tijd genomen hebben om mij te woord te staan en informatie te geven. Met name de heer P. Leegstraten en R. Verheul wil ik bedanken. Ook wil ik de heer G. J. Franx bedanken voor het begeleiden bij dit werkstuk.

Veel leesplezier.

Melvin van Dam
Augustus 2003

Samenvatting

Mijn vraagstelling luidt:

Wat is cross-docking precies, wat zijn de resultaten van de toepassing van cross-docking bij Albert Heijn en wat is de optimale vorm van een cross-dock?

Iets specifieker wil ik met behulp van literatuur achterhalen wat de voor- en nadelen van cross-docking zijn en wat de voorwaarden zijn voor implementatie van een cross-docking systeem. In het praktijk gedeelte kijk ik naar de toepassing van cross-docking bij Albert Heijn en wat de resultaten zijn die ze daarmee boeken. Vervolgens bekijk ik een model van Bartholdi en Gue [10] om te beoordelen welke vorm voor een cross-dock optimaal is.

Cross-docking is een techniek waarbij binnenkomende producten in een distributiecentrum niet worden opgeslagen, maar worden verdeeld en direct weer worden verzonden naar de volgende schakel in de supply-chain. Voordelen van deze techniek zijn onder andere:

- Lagere voorraden in de supply-chain.
- Hogere omloopsnelheid van de producten.
- Kostenbesparing.
- Uitbreiding van de capaciteit van het distributiecentrum.

Echter, behalve voordelen zijn er ook enkele nadelen:

- Leverancierskeuze wordt beperkt.
- Gevoelig voor verstoringen.
- Tijdsdruk op transport.

Voorwaarden voor implementatie van cross-docking zijn:

- Producten moeten voldoen aan:
 - Relatief grote vraag.
 - Korte levertijd.
 - Voorspelbare vraag.
 - Weinig handelingen nodig.
- Informatiestromen moeten voldoende 'ontwikkeld' zijn, gebruik van bijvoorbeeld:
 - Electronic Data Interchange.
 - Electronic Point of Sales.
- Goede relatie met leveranciers.

Bij Albert Heijn wordt cross-docking sinds 1990 met goede resultaten uitgevoerd. Praktisch alle hierboven genoemde voordelen ondervindt men bij Albert Heijn na invoering van cross-docking. Enkele van de nadelen hebben ze ook reeds ondervonden. Toch wegen de voordelen ruimschoots op tegen de nadelen, men is dan ook zeker van plan om cross-docking in de toekomst nog uit te gaan breiden.

Met betrekking tot de vorm van een cross-dock blijkt dat bij kleine docks tot ongeveer 160 deuren de I-vorm optimaal is. Bij docks tussen de 160 en ongeveer 260 deuren is een T vorm beter. Bij grotere docks is de H-vorm een goede vorm. Deze breekpunten blijken discutabel.

Inhoudsopgave

1 WAT IS CROSS-DOCKING?	8
1.1 IDEE ACHTER CROSS-DOCKING	8
1.2 DEFINITIE	8
2 VOORWAARDEN VOOR IMPLEMENTATIE	11
2.1 EISEN AAN GOEDEREN	11
2.2 INFORMATIESTROMEN	12
2.3 RELATIE MET LEVERANCIERS	12
3 VOORDELEN	14
3.1 KLEINERE VOORRAAD	14
3.2 RUIMTEBESPARING	14
3.3 VERBETERDE KLANTENSERVICE	14
3.4 MOGELIJKHEID TOT REAL-TIME BESLISSINGEN	14
4 NADELEN	15
4.1 LEVERANCIERSKEUZE	15
4.2 SYSTEEMGEVOELIGHEID	15
4.3 TRANSPORT	15
5 DE DISTRIBUTIE VAN ALBERT HEIJN	17
5.1 DISTRIBUTIECENTRA	17
5.2 DISTRIBUTIEFILOSOFIE	17
5.3 BESTELPROCES	19
5.4 KWALITEITSCONTROLE	19
6 CROSS-DOCKING BIJ ALBERT HEIJN	20
6.1 CROSS-DOCKING VARIANT 1	20
6.2 CROSS-DOCKING VARIANT 2	20
6.3 AANTAL GECROSSDOCKTE PRODUCTEN	21
6.4 RESULTATEN VAN CROSS-DOCKING	21
7 DE OPTIMALE VORM VAN EEN CROSS-DOCK	23
7.1 MODEL VAN BARTHOLDI EN GUE	23
7.2 OP- EN AANMERKINGEN OP HET MODEL VAN BARTHOLDI EN GUE	28

Inleiding

De economie is de laatste tijd in een neergaande beweging terechtgekomen. Bestedingen van consumenten worden uitgesteld of blijven helemaal uit. We zitten bovendien in een tijdperk waarin de consument ‘het voor het zeggen heeft’. Consumenten zijn veeleisend, weten precies wat ze willen en stappen gemakkelijk over naar een concurrent. Om de winst te laten groeien of op zijn minst te stabiliseren is het voor bedrijven noodzakelijk om de kosten zover mogelijk te minimaliseren. Daarentegen zal de service aan de consumenten gemaximaliseerd moeten worden om een de overstap naar een concurrent tegen te gaan. Dit geeft een tegenstrijdigheid, aangezien een verbeterde service over het algemeen een kostenstijging impliceert.

De keuzemogelijkheden voor consumenten worden steeds groter. Veel producten worden geleverd in verschillende prijsklassen en in heel veel verschillende typen. Dit brengt voor bedrijven over het algemeen een grotere voorraad met zich mee. Er zijn meer producten en onderdelen die op voorraad gehouden moeten worden. En dit houden van voorraad kost veel geld. De kosten van voorraad houden zijn onder andere:

- Ruimte → De voorraad ligt opgeslagen in een distributiecentrum. Hier zijn uiteraard kosten aan verbonden.
- Risico → Opgeslagen voorraad kan bederven, uit de mode raken, er kan brand uitbreken en dergelijke.
- Rente → In de opgeslagen voorraad zit kapitaal vast. Dat kapitaal kan dan niet worden gebruikt voor andere doeleinden. Je loopt dus rente mis.

Om de kosten beheersbaar te houden is het van groot belang dat voorraden klein zijn, en de producten een zo klein mogelijke doorlooptijd hebben. De producten moeten zoveel mogelijk ‘in beweging’ zijn.

Kortom, bedrijven zullen dus moeten streven naar een minimale voorraad, een hoge omloopsnelheid, maar toch een breed aanbod van producten en dit alles tegen zo laag mogelijke kosten. Een manier om deze doelen beter te kunnen bereiken is cross-docking. Cross-docking is een relatief nieuw begrip, maar de laatste jaren behoorlijk in opkomst.

Het idee achter cross-docking is dat de producten zoveel mogelijk in beweging moeten blijven. Stilstaande producten kosten alleen maar geld. Dus er wordt naar gestreefd om binnenkomende producten van een leverancier direct op te splitsen in kleinere eenheden, en deze dan zonder tussentijdse opslag weer in te laden en te verzenden naar de afnemers. Om de beladingsgraad van de vrachtwagens zo groot mogelijk te krijgen, worden deze over het algemeen beladen met een mix van producten van verschillende leveranciers.

In het eerste gedeelte van dit BWI-werkstuk zal ik bekijken hoe cross-docking er in theorie uitziet. Ik heb bij het schrijven van dit gedeelte voornamelijk gebruik gemaakt van [2]. In het tweede gedeelte kijk ik naar de praktijk. Ik richt me daarbij op de toepassing van cross-docking in de distributie van Albert Heijn. Dit gedeelte is voornamelijk gebaseerd op een vraaggesprek met de heer P. Leegstraten en de heer R. Verheul van Albert Heijn. Tenslotte kijk ik in het laatste gedeelte naar de vorm van bestaande cross-docks en welke vorm optimaal is. Paragraaf 7.1 is een samenvatting van [10].

Cross-Docking in theorie

1 Wat is cross-docking?

1.1 Idee achter cross-docking

Zoals al genoemd in de inleiding is het centrale idee achter cross-docking dat producten zoveel mogelijk in beweging zijn. Dit om de omloopsnelheid van producten te verhogen, de capaciteit van een distributiecentrum te verhogen en kosten te besparen. Het feit dat de producten zoveel mogelijk in beweging zijn heeft onder andere gevolgen voor de leveringsfrequentie van de producten en de functie van het distributiecentrum.

Leveringsfrequentie van de producten

In veel bedrijfstakken vinden leveringen éénmaal in de week plaats. Dit betekent dat in de winkels minimaal een week voorraad aanwezig moet zijn. Omdat bij cross-docking de producten zoveel mogelijk in beweging zijn, moet de leveringsfrequentie hoog zijn. Producten die vandaag worden verkocht moeten morgen weer worden aangevuld.

Functie van het distributiecentrum

Normaal gesproken vervult een distributiecentrum een voorraadfunctie. In dat geval zijn er 4 kernactiviteiten te onderscheiden. Dit zijn:

- Inslag.
- Opslag.
- Orderpikken.
- Uitslag.

Van deze activiteiten zijn opslag en orderpikken het duurst. Opslag vanwege de kosten van voorraad houden en de risico's die hieraan zijn verbonden, en orderpikken omdat het een arbeidsintensief proces is. Bij cross-docking worden deze twee activiteiten van een distributiecentrum uitgeschakeld. Binnenkomende goederen worden zonder tussentijdse opslag direct uitgeslagen voor verder transport.

1.2 Definitie

Om te kunnen bekijken hoe cross-docking in theorie werkt, is het van belang om naar de definitie van cross-docking te kijken. Hier is men in de literatuur niet eenduidig in. Er worden verschillende definities gegeven, waarvan ik er een aantal zal opsommen. De definitie van Johnson is:

'Een operationele techniek voor het ontvangen, toewijzen, sorteren en verspreiden van een product, terwijl het op het dock van een distributiecentrum blijft, en daarom niet afhangt van het 'pakken' van opgeslagen voorraad'. [2]

Johnson geeft na zijn definitie aan dat het een proces is wat over het algemeen wordt uitgevoerd binnen één enkele shift.

Gue geeft de volgende definitie:

'Cross-docking is een logistieke techniek die de opslag en orderpikkende functies van een magazijn uitschakelt, terwijl het zijn ontvangende en verzendende functies kan blijven uitvoeren'. [1]

Daarna geeft Gue aan dat het idee van cross-docking is dat ladingen direct van inkomende naar uitgaande trailers gaan zonder tussentijdse opslag. Gue geeft voor de maximum tijd die de lading op het dock mag zijn 24 uur aan. Kinnear zegt:

'Het ontvangen van product van een leverancier of fabrikant voor verschillende eindbestemmingen, en dit product verenigen met andere producten voor gemeenschappelijke uiteindelijke leveringsbestemmingen'. [3]

Vis geeft de volgende definitie:

'Het transporteren van goederen van het ontvanggebied tot het verzendgebied in zo min mogelijk tijd en zonder opslag'. [4]

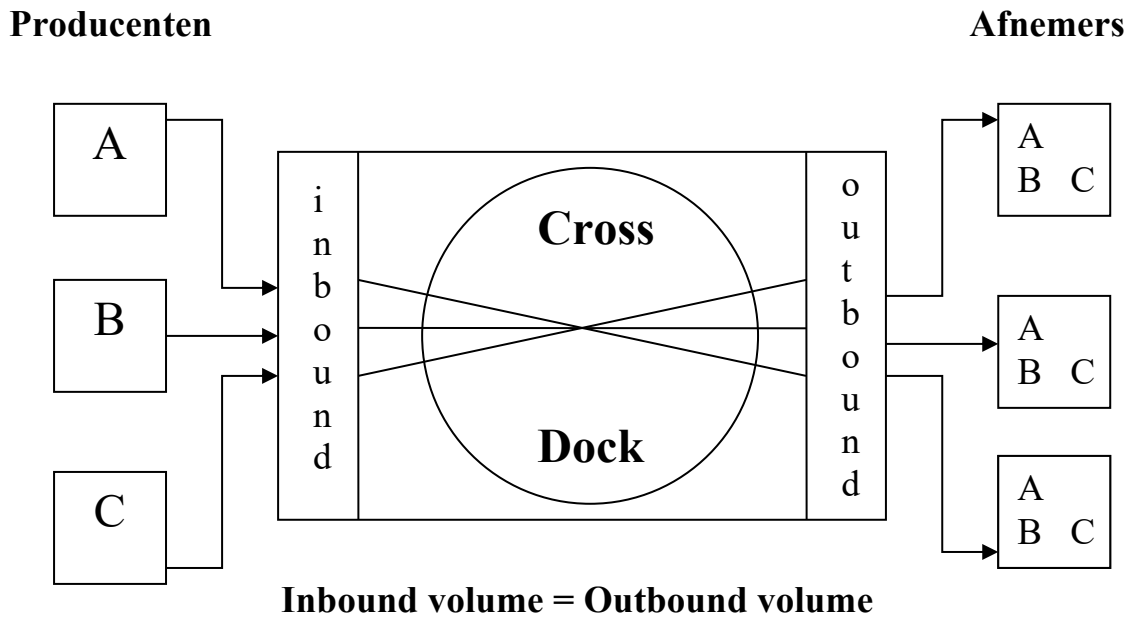
Het is duidelijk dat er zeker geen eenduidige definitie bestaat. Wat in de definities naar voren komt is dat de tijd tussen het ontvangen en weer verzenden van het product zo kort mogelijk moet zijn. Dit is ook logisch, want stel dat het product een week op het dock ligt, dan is er in feite natuurlijk sprake van opslag. (Ook al ligt het product niet fysiek in de stellingen). Een tweede punt wat uit de definities blijkt is dat de inkomende producten meteen worden toegewezen naar eindbestemmingen.

De definitie die volgens mij het beste uitdrukt wat cross-docking is, is die van Johnson:

'Een operationele techniek voor het ontvangen, toewijzen, sorteren en verspreiden van een product, terwijl het op het dock van een distributiecentrum blijft, en daarom niet afhangt van het 'pakken' van opgeslagen voorraad'

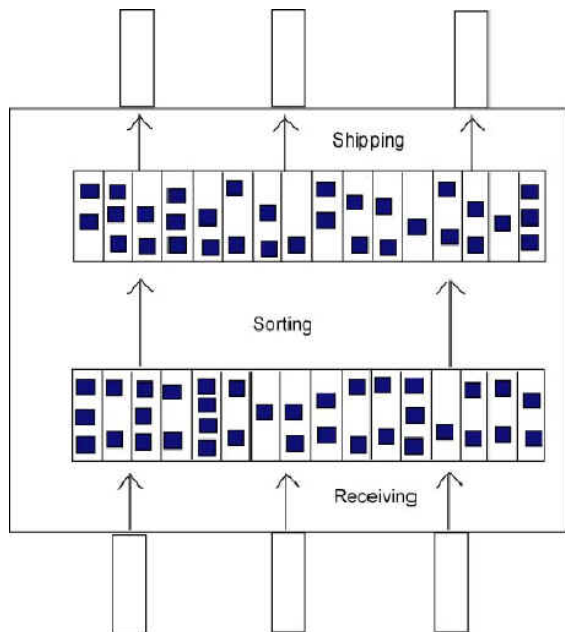
De meningen over hoelang het product op het dock mag liggen zijn verdeeld. Ik zal er voor het vervolg van dit werkstuk vanuit gaan dat dit maximaal 24 uur is. Als de ingekomen goederen binnen deze 24 uur verdeeld en weer weggegaan zijn, is er naar mijn mening sprake van cross-docking.

Schematisch ziet een cross-docking operatie er als volgt uit:



Figuur 1: Bron: [2]

Een voorbeeld van het dock zelf:



Figuur 2: Bron: [7]

Er zijn een aantal dockdeuren voor inkomende vracht, pallets worden van inkomende banen naar de goede uitgaande baan getransporteerd, en er zijn een aantal dockdeuren voor uitgaande vracht.

2 Voorwaarden voor implementatie

2.1 Eisen aan goederen

Het is niet mogelijk om alle producten te cross-docken. Producten die voor cross-docking in aanmerking komen hebben de volgende eigenschappen:

- 1. Hoge vraag naar het product.
- 2. Weinig handelingen nodig.

Ik zal deze eigenschappen kort toelichten.

Ad 1. Zoals eerder gezegd moet de leveringsfrequentie hoog zijn. Als de dagelijkse vraag naar het product lager is dan de EOQ¹, dan is het verstandiger om wat voorraad aan te houden. Anders zouden de bestel en transportkosten veel te hoog worden bij de hoge leveringsfrequentie.

Ad 2. Hoe minder handelingen er nodig zijn aan een product hoe sneller de operatie kan verlopen. In een ideale situatie komt de ladingen op pallets binnen en kan zonder verdere handelingen op dezelfde pallet een gereedstaande vrachtwagen in.

Andere eigenschappen die prettig zijn bij cross-docking:

- 1: Voorspelbare vraag naar het product.
- 2: Korte levertijd

Ad 1. Als de vraag naar een product erg onzeker is, is het heel moeilijk om de leveringen af te stemmen op de vraag. In dit geval is cross-docking moeilijk te realiseren. De leverancier zal extra voorraden aanleggen om ervoor te zorgen dat hij aan alle bestellingen van de afnemer kan voldoen. Dit kan de gerealiseerde voorraadverlaging in de keten deels teniet doen.

Ad 2. Als een bestelling binnenkomt moet binnen afzienbare tijd het product bij het cross-dock kunnen zijn. Voor producten met een lange levertijd zoals importproducten die over zee komen, is cross-docking vaak geen goed alternatief. De afnemer weet niet op voorhand hoeveel producten er verkocht gaan worden en legt dus extra voorraad aan. Ook dit kan de voorraadverlaging deels teniet doen. Bovendien zijn transportkosten bij importproducten vaak relatief zo hoog dat er één of meerdere containers tegelijk besteld worden. Het bestellen van kleine hoeveelheden om deze te cross-docken weegt vaak niet op tegen de hoge transportkosten.

Daarom werkt cross-docking het beste met producten die een korte levertijd en voorspelbare vraag hebben.

Voorbeelden van goederen die geschikt zijn voor cross-docking zijn post of pakketjes en etenswaren.

¹ Economic Order Quantity, Economisch gezien de ideale bestelgrootte

2.2 Informatiestromen

Het belang van goed informatie, up-to-date, is van uitzonderlijk belang voor een goede cross-docking operatie. Omdat er vaak dagelijks leveringen plaatsvinden is de doorlooptijd van een bestelling klein. Leveranciers moeten tijdig op de hoogte zijn van welke bestellingen ze kunnen verwachten. Ook op het cross-dock moet bekend zijn welke bestellingen wanneer aankomen en waar ze naar toe moeten.

Op het moment van bestellen moet precies bekend zijn hoeveel producten er nodig zijn. Een handig hulpmiddel hiervoor is een EPOS². Aankopen van klanten worden direct geregistreerd. Als dan een bestelling de deur uitgaat zijn de benodigde hoeveelheden exact bekend.

Omdat zowel de leverancier als het cross-dock op de hoogte moeten zijn van alle informatie omtrent bestellingen wordt er vaak gebruik gemaakt van EDI³.

De informatieoverdracht is zo belangrijk bij cross-docking dat een succesvol proces zonder gebruik te maken van EPOS's en EDI eigenlijk niet mogelijk is.

2.3 Relatie met leveranciers

Ook de relatie met leveranciers is van essentieel belang. Er zijn een aantal aandachtspunten:

- 1: Kwaliteit van de producten.
- 2: Informatiestromen.
- 3: Timing van leveringen.

Ad 1: Hoe minder handelingen er in het cross-dock plaatsvinden hoe beter. Dan kunnen de producten sneller weer doorstromen. Dit betekent dat voor kwaliteitscontrole eigenlijk geen tijd meer is in het cross-docking proces. De relatie met de leverancier moet zodanig zijn dat de afnemer kan vertrouwen op de kwaliteit van het geleverde.

Ad 2: Het belang van informatiestromen op zich heb ik in paragraaf 2.2 al aangegeven. Met betrekking tot de leveranciersrelatie valt nog op te merken dat informatie vaak vertrouwelijk is. Maar toch is de verkoopinformatie vaak essentieel voor een goed lopend proces. Als een leverancier niet over verkoopinformatie beschikt weet hij niet op welke bestellingen hij kan rekenen. Als gevolg daarvan gaat de leverancier veel meer voorraad aanhouden, want hij wordt wel geacht om op een bepaald moment de gevraagde hoeveelheid te kunnen leveren. Het risico is dan aanwezig dat de door cross-docking gerealiseerde voorraadafname bij afnemers een even grote of zelfs grotere voorraadtoename bij leveranciers oplevert. Vandaar dat verkoopinformatie van groot belang voor de leverancier is. Deze kan deze informatie analyseren, trends ontdekken en voorspellingen voor de toekomst doen om zijn voorraad op te baseren. Om gevoelige informatie als verkoopgegevens naar leveranciers door te spelen, is een vertrouwensband tussen leverancier en afnemer van belang.

² Electronic Point of Sales,

³ Electronic Data Interchange, Electronische uitwisseling zonder menselijke interacties van gestructureerde en genormeerde gegevens tussen computers van de bij een handelsactie betrokken partijen [5]

Ad 3: Ook de timing van leveringen is erg belangrijk. Als met een leverancier een bepaalde levertijd wordt afgesproken, dan moeten de producten er ook zijn op dat tijdstip. Anders kan het hele proces stil komen te liggen.

Een goede relatie met leveranciers is vaak lastig te realiseren. Over het algemeen hebben de leverancier en de afnemer tegengestelde belangen. Beide willen kosten minimaliseren en winst maximaliseren. Daarom is er vaak een spanningsveld tussen afnemer en leverancier. Immers hoge winst voor een leverancier zal hoge kosten voor een afnemer betekenen. Beide partijen moeten het inzicht en vertrouwen krijgen dat met cross-docking de totale kosten in de supply-chain omlaag kunnen. Het voordeel kan dan worden gedeeld door de meewerkende partijen.

3 Voordelen

In een crossdock is over het algemeen geen ruimte voor opslag, hoogstens kan er tussentijds wat opgeslagen worden, maar aan het einde van de dag is het de bedoeling dat er geen producten op het dock achterblijven. Hieruit komt meteen het eerste grote voordeel van cross-docken naar voren:

3.1 Kleinere voorraad

De voorraadhoogte wordt kleiner. Hieruit vloeien ook weer andere voordelen voort:

- Aanzienlijke kostenbesparing op ruimte, risico en rente.
- De omloopsnelheid van de producten wordt vergroot. De producten zijn zoveel mogelijk in beweging, en kosten dan minder geld dan wanneer ze in opslag liggen.

3.2 Ruimtebesparing

Omdat er geen of minimale voorraad in het dock is, is er ruimtebesparing. Hierdoor wordt de capaciteit van het dock vergroot. Er kunnen bijvoorbeeld meer verschillende producten verwerkt worden op dezelfde oppervlakte.

3.3 Verbeterde klantenservice

De service aan de klant kan verbeteren. Door de verhoogde capaciteit van een distributiecentrum en de verminderde voorraad in filialen kunnen meer productlijnen worden verkocht. Dit betekent dat de keuzemogelijkheid van klanten vergroot wordt. Bovendien is de leveringsfrequentie vaak hoger dan voorheen. Zonder cross-docking betekent een hoge leveringsfrequentie vaak een lage beladingsgraad van vrachtwagens. Door te cross-docken en leveringen van leveranciers samen te voegen valt dit nadeel weg. Door de verhoogde leveringsfrequentie neemt de service aan de klant toe omdat bestellingen nooit lang op zich laten wachten.

3.4 Mogelijkheid tot real-time beslissingen

Cross-docking kan alleen goed werken als de informatiestromen up-to-date zijn. Dit betekent dat vaak op elk moment bekend is waar de producten zich bevinden. Daarom kunnen real-time beslissingen gemaakt worden, bijvoorbeeld door het gebruik van een dynamisch routeplanningstelsel bij verkeersopstoppingen.

4 Nadelen

Behalve voordelen zijn er natuurlijk ook een aantal nadelen van cross-docking aan te geven.

4.1 Leverancierskeuze

Zoals eerder aangegeven is de relatie met leveranciers heel belangrijk, anders is het onmogelijk een goed werkend cross-docking proces te maken. Het vergt veel tijd om de relatie met leveranciers zo te krijgen en te houden. Dit betekent wel dat het moeilijk is om zomaar van leverancier te veranderen. De leverancierskeuze wordt door cross-docking beperkt. Dit kan extra macht bij een leverancier leggen.

4.2 Systeemgevoeligheid

Eén van de belangrijkste nadelen van cross-docking is de verhoogde systeemgevoeligheid. Het proces valt of staat met het constant in beweging houden van goederenstromen en informatiestromen. De gevolgen van een eventuele fout in het systeem zijn over het algemeen veel groter dan in een standaard distributiesysteem. Vaak is er nog maar voor zeer beperkte tijd voorraad aanwezig in distributiecentra en winkels. Opstoppingen in het systeem kunnen een totale 'stock-out' voor een afnemer betekenen.

4.3 Transport

Cross-docking is een tijdskritieke operatie. Deze tijdsdruk ligt uiteraard ook op de transporten van de leverancier naar het cross-dock. Zeker in een klein land als het onze, met een grote verkeersdruk kan dit een nadeel opleveren. Files kunnen behoorlijke invloed uitoefenen op het functioneren van cross-docking. Gelukkig zijn er de laatste jaren steeds betere routeplanners op de markt, die in hun afstanden-rijtijden tabellen rekening houden met spitsuren. Toch kan een onvoorziene vertraging het proces behoorlijk beïnvloeden.

Cross-Docking in praktijk

bij Albert Heijn

5 De distributie van Albert Heijn

Voordat ik expliciet inga op de cross-docking processen bij Albert Heijn zal ik eerst een korte inleiding geven over het distributiesysteem van Albert Heijn.

5.1 Distributiecentra

In het distributienetwerk van Albert Heijn bevinden zich 2 landelijke en 4 regionale distributiecentra. De landelijke distributiecentra bevinden zich in Geldermalsen en Nieuwegein. Dit zal ik in het vervolg de LDC's noemen. De regionale distributiecentra staan in Zaandam, Pijnacker, Zwolle en Tilburg. Deze DC's noem ik de RDC's.

De RDC's zijn onderverdeeld in 3 deelgebouwen. Elk deelgebouw neemt een apart deel van de goederenstroom voor zijn rekening. De deelgebouwen zijn als volgt ingedeeld:

- 1: Houdbaar → top⁴ 2000 van de houdbare producten.
- 2: Vers → top 1000 aan verse artikelen.
- 3: Retourstroom → fusten, afval en dergelijke.

In LDC Geldermalsen worden de volgende producten opgeslagen:

- 1: Top 9000 aan producten.
- 2: Niet stapelbare producten.
- 3: Tabaksartikelen.
- 4: 'Douane'artikelen (bv. Wijn).

Het LDC in Nieuwegein is voornamelijk voor de superverse producten waaronder bijvoorbeeld sushi.

5.2 Distributiefilosofie

In het verleden waren er veel verschillende goederenstromen van leveranciers en distributiecentra naar de filialen van Albert Heijn. Dit waren onder andere: diepvriesstroom, geconditioneerde stroom, langzame stroom, media, bloemen, inventaris en een houdbare stroom. Dit ging allemaal in aparte auto's naar de filialen toe. Sommige goederenstromen werden twee keer in de week geleverd, anderen 4 keer in de week, anderen dagelijks. Een aantal leveranciers leverde hun producten rechtstreeks aan de filialen. Een gemiddeld filiaal kreeg hierdoor zo'n 70 tot 80 vrachtwagens per week aan de deur.

In 1990 besloot men dan het anders moest en toen is het 'VVM' concept ontwikkeld. Dit staat voor 'Vandaag voor Morgen'. In de VVM filosofie moet elke vestiging van Albert Heijn minimaal 1 keer per dag worden beleverd. De VVM filosofie is onder andere voortgekomen uit de missie van Albert Heijn die luidt:

⁴ Deze 'top' aan artikelen wordt gemeten in volume

"Albert Heijn wil het dagelijks leven - en zeker het boodschappen doen - aangenaam, gemakkelijk en bijzonder maken. Wij willen de wensen van onze klanten altijd en overal vervullen."

Concreet richt Albert Heijn zich op 5 zoals ze zelf noemen 'kernwaarden' namelijk:

- kwaliteit.
- Keuze.
- Value.
- Inspiratie.
- Innovatie.

Albert Heijn wil zich onderscheiden van andere supermarktketens met onder andere hun grote aanbod aan verschillende producten, en keuzemogelijkheid tussen gelijksoortige producten. Om het aanbod van producten zo groot mogelijk te maken moeten zoveel mogelijk vierkante meters van het totale winkeloppervlak worden benut. Dit betekent dat de magazijnen in de filialen zo klein mogelijk moeten zijn. Om 'nee'verkoop te voorkomen en toch met kleine magazijnen te werken moet elk filiaal minimaal 1 keer per dag worden beleverd. Wat vandaag wordt verkocht moet morgen weer worden aangevuld, vandaar 'Vandaag Voor Morgen'. In het VVM concept zijn de verschillende goederenstromen gecombineerd tot 2 stromen, namelijk:

- kruidenierswaren houdbaar
- visstroom (dit is een geconditioneerde stroom)

In de kruidenierswaren stroom worden alle houdbare producten geleverd. De visstroom is een geconditioneerde stroom waarin allerlei gekoelde en bevroren producten meegaan. Van beide stromen moet per dag tenminste één levering per filiaal plaatsvinden. Op deze manier worden alle artikelen die Albert Heijn verkoopt minstens één keer per dag aangevuld. Alleen brood en media zoals kranten worden nog apart geleverd, deze moeten 's morgens heel vroeg geleverd worden.

Door het samenvoegen van al deze stromen krijgt een filiaal nu veel minder vrachtwagens aan de deur. Dit zijn er nu gemiddeld 25 per week. Bovendien neemt de beladingsgraad van de vrachtwagens toe. De transportmiddelen worden dus veel efficiënter ingezet. Hierdoor zijn de transportkosten minder geworden ten opzichte van de afzonderlijke losse goederenstromen die er eerst waren.

5.3 Bestelproces

Het bestelproces bij Albert Heijn is behoorlijk geautomatiseerd. Dit is ook een voorwaarde om cross-docking werkbaar te maken. Er zijn twee manieren waarop bestellingen plaatsvinden.

- 1: Met behulp van RFBA⁵. Dit is een computersysteem wat op basis van verkoopregistratie aan de kassa en historische verbruiksgegevens een optimale bestelgrootte berekend.
- 2: Met behulp van AA⁶. AA is in gebruik bij kant-en-klaar maaltijden, pizza's en sandwiches. Als zo'n product wordt verkocht, stuurt een computer dit direct door naar het hoofdkantoor. Voordeel van deze methode is dat op het laatste moment de bestelgrootte kan worden bepaald.

De totale levertijd van een bestelling is maar 18 uur. Dit is heel kort als je bedenkt dat sommige goederen in die tijd moeten worden gepikt in het LDC, naar het RDV vervoerd, daar gecrossdockt en vervolgens naar een filiaal vervoerd.

Alle bestellingen worden naar het hoofdkantoor in Zaandam gestuurd. Daar worden ze vervolgens doorgestuurd naar leveranciers, LDC's en RDC's.

5.4 Kwaliteitscontrole

Zoals al in de theorie over cross-docking naar voren kwam is er tijdens het proces geen tijd voor zaken als kwaliteitscontrole. Bij Albert Heijn vinden deze controles op 2 verschillende manieren plaats:

- Mensen van Albert Heijn screenen regelmatig processen bij leveranciers
- Steekproefsgewijs worden bij filialen kwaliteitscontroles uitgevoerd zoals temperatuurcontrole.

⁵ Redesigned FiliaalBestelAssistent, een computer systeem wat Albert Heijn gebruikt om bestelgroottes te berekenen [6]

⁶ Automatisch Aanleveren [6]

6 Cross-docking bij Albert Heijn

Toen de VVM filosofie door Albert Heijn was ontwikkeld zocht men naar een manier om een zo groot mogelijk assortiment in de filialen te krijgen met zo min mogelijk voorraad in een zo kort mogelijke tijd. Vanuit die behoefte is men gaan cross-docken. Dit zijn precies de voordelen die cross-docking kan bieden. Cross-docking komt bij Albert Heijn in verschillende varianten voor. Ik zal deze varianten hieronder toelichten

6.1 Cross-docking variant 1

Leverancier = LDC, cross-dock = RDC, afnemer = filiaal.

Deze vorm van cross-docking werkt als volgt. Een LDC, bijvoorbeeld Geldermalsen krijgt een bestelling binnen via het hoofdkantoor in Zaandam. Het LDC krijgt de bestellingen van het hoofdkantoor per filiaal. De bestelling wordt per filiaal op een rolcontainer gepikt. De bestellingen van filialen die door een zelfde RDC worden beleverd worden samengevoegd. De rolcontainers bevatten een sticker met barcode en het filiaalnummer. Als de vrachtwagen bij het RDC aankomt, wordt deze uitgeladen, en worden de rolcontainers naar het 'uitgaand-dock' van het RDC gebracht, waar ze bij de rolcontainers van hetzelfde filiaal worden gezet die door het RDC gepikt zijn. Vervolgens worden ze ingeladen en gaan ze naar het betreffende filiaal.

Dit is dus een vorm van cross-docking waarin het LDC de leverancier is, het RDC het cross-dock, en het filiaal de afnemer.

Dit is in praktijk een goede werkbare manier van cross-docking. Groot voordeel aan deze variant is dat de 'leverancier' een eigen distributiecentrum is. Dus wat betreft de leverancier-afnemer relatie zijn in deze variant geen problemen te verwachten.

6.2 Cross-docking variant 2

Leverancier = leveranciers van Albert Heijn, cross-dock = LDC, afnemer = RDC.

Voordat deze cross-docking variant werd toegepast reden vrachtwagens van Albert Heijn vaak praktisch leeg terug van de RDC's naar een LDC. Ze namen wel eens wat retour zoals fust, verpakkingsmaterialen en artikelen waarvan de houdbaarheidsdatum was verstreken, maar de beladingsgraad op de terugweg naar het LDC was heel laag. Nu rijden vrachtwagens op de terugweg vaak langs een leverancier om daar een lading op te pikken. Deze lading komt binnen in het LDC waar het meteen wordt uitgesplitst naar de 4 RDC's en klaargezet op het uitgaande dock. Daar wordt het vervolgens meegenomen in de goederenstromen die toch al naar de RDC's lopen. Het is dus mogelijk dat deze goederen even stilstaan, maar dat is nooit meer dan een paar uur. Dit is dus ook een vorm van cross-docking.

Persoonlijk vind ik dit een hele mooie toepassing. Er worden twee vliegen in 1 klap geslagen. De beladingsgraad van de vrachtwagens is behoorlijk toegenomen, en door de goederen van de leveranciers te cross-docken worden ook hier voordelen mee behaald. Het idee om de goederen zelf op te halen omdat de vrachtwagens er toch praktisch langsrijden is even simpel als geniaal.

6.3 Aantal gecrossdockte producten

Momenteel wordt zo'n 15% van het volume van de houdbare producten gecross-dockt en zo'n 35% van het volume van de verse producten. Dit lijkt nog niet heel veel, maar als je nagaat dat Albert Heijn zo'n 750 filialen heeft die elk tussen de 1.000 en 30.000 producten per dag ontvangen, dan gaat het toch over heel wat producten. Albert Heijn wil dit in de toekomst zeker uit gaan breiden omdat de resultaten tot nu toe erg positief zijn.

6.4 Resultaten van cross-docking

Het VVM concept en de cross-docking die daaruit voortgekomen is hebben heel wat positieve resultaten opgeleverd voor Albert Heijn. Voorbeelden van deze resultaten zijn:

- Groter aanbod van verse producten.
- Minder voorraad in de DC's en winkels.
- Verbeterde beschikbaarheid van de producten op de schappen.
- Kostenbesparingen.

Dit rijtje voordelen komt overeen met de theorie over cross-docking.

Voorheen werd een RDC zo'n 2 keer per week beleverd, nu zo'n 20 keer per dag. Er is gemiddeld ook maar voor ongeveer anderhalve dag voorraad aanwezig in de RDC's. Door te gaan cross-docken heeft Albert Heijn eigenlijk de voorraden terug de supply-chain ingeduwd. Leveranciers worden verantwoordelijk gehouden voor de voorraad in de RDC's. In hoeverre de leveranciers meeprofiten van cross-docking werd mij niet verteld. Maar uit het gesprek wat ik met de heer P. Leegstraten van Albert Heijn heb gehad liet hij me wel blijken dat Albert Heijn succesvol is met cross-docking door de schaalgrootte. Omdat Albert Heijn voor veel leveranciers een hele grote klant is, kan Albert Heijn het zich permitteren om die leveranciers min of meer te verplichten mee te werken.

Enkele nadelen zijn er ook aan te geven

Er vinden meer naleveringen plaats. Omdat de voorraad in de DC's en filialen van Albert Heijn minimaal is zijn naleveringen soms nodig. Dit brengt uiteraard extra kosten met zich mee.

Bestaande gebouwen hebben een cross-docking functie gekregen en waren daar oorspronkelijk niet voor gebouwd. Behalve een cross-docking functie hebben de RDC's ook nog steeds een voorraadfunctie. Dit maakt het soms lastig om overzicht te houden.

Het theoretische nadeel van verminderde leverancierskeuze speelt voor Albert Heijn niet in verband met de schaalgrootte die ik hierboven al genoemd heb. Volgens de heer P. Leegstraten is ook de tijdsdruk op transport voor Albert Heijn geen issue. Volgens hem komt het bijna niet voor dat vrachtwagens te laat zijn.

De optimale vorm van een cross-dock

7 De optimale vorm van een cross-dock

Cross-docks vind je in veel verschillende vormen en afmetingen. Voorbeelden van vormen die in de praktijk voorkomen zijn: I, L, T en H. Vaak worden bestaande gebouwen ingericht als cross-dock. Maar wat is een optimale vorm bij een nieuw te bouwen cross-dock?

7.1 Model van Bartholdi en Gue

Cross-docking is arbeidsintensief en de meeste variabele kosten worden gemaakt door het verplaatsen van de producten door het dock. Daarom is het gunstig als de afgelegde afstand van de producten in het dock zo klein mogelijk is. Dit komt ook de totale handelingstijd ten goede.

De basis vorm van een crossdock is de I-vorm. Een smalle rechthoek met deuren aan beide zijden van het gebouw. Het is gemakkelijk in te zien dat de afgelegde afstanden in het dock kleiner worden als het dock smaller is. Hoe smaller het dock hoe efficiënter, maar er moet wel ruimte overblijven voor eventuele tijdelijke opslag en om te voorkomen dat heftrucks elkaar in de weg rijden. In het vervolg ga ik ervan uit dat de breedte van het dock een kleine vaste waarde is. Omdat dit een vaste waarde is, hangt de efficiency af van de lengte van het dock.

Definitie: De diameter van een cross-dock is de grootst mogelijke afstand tussen 2 deuren in het dock.

Het nadeel van de I-vorm is dat het een erg inefficiënte vorm is als het aantal deuren groot is. Dit omdat de diameter van het crossdock dan snel toeneemt. Een maat voor deze toename van de diameter bij een toename van het aantal deuren is de centrality van een crossdock.

Definitie: De centrality van een cross-dock is gelijk aan de toename van het aantal deuren gedeeld door de toename van de diameter.

Als bij de I-vorm het aantal deuren met 4 toeneemt (2 deuren tegenover elkaar aan beide uiteinden van het cross-dock) dan neemt de diameter met 2 deurbreedtes toe. De centrality is dus $4/2 = 2$

De centrality waarden voor I, L, T en H zijn:

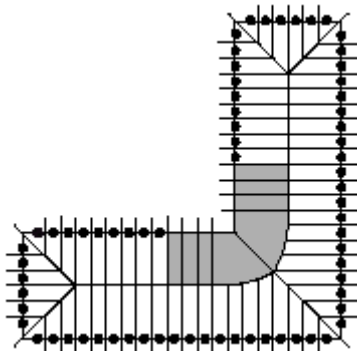
Vorm	Centrality
I	$4/2 = 2$
L	$4/2 = 2$
T	$6/2 = 3$
H	$8/2 = 4$

Hoe groter de centrality, hoe minder de maximum af te leggen afstand toeneemt als het aantal deuren toeneemt. Vormen met een grote centrality hebben dus de voorkeur.

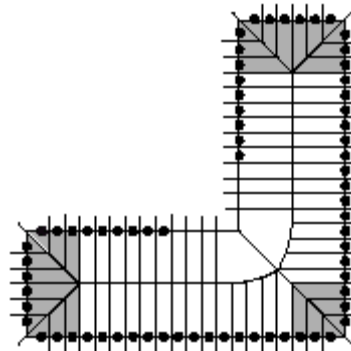
Dit zou betekenen dat een H vorm het beste is voor een crossdock. Maar deze vormen hebben wel een nadeel ten opzichte van de I-vorm, omdat ze extra hoeken hebben. Deze hoeken brengen extra 'kosten' met zich mee.

Om deze kosten zichtbaar te maken, maak ik gebruik van zogenaamde Voronoi diagrammen.⁷

Er zijn twee soorten hoeken, binnenhoeken en buitenhoeken.



Figuur 3: Bron: [10]



Figuur 4: Bron: [10]

Figuur 3 is een Voronoi diagram van een crossdock. Het grijze vlak is een binnenhoek van het dock. In deze hoek zijn een aantal deuren die niet gebruikt kunnen worden, omdat de vrachtwagens elkaar anders in de weg staan. Het grijze gedeelte is ook minder geschikt voor tijdelijke opslag van goederen omdat dan extra afstand afgelegd moet worden.

In Figuur 4 zijn de 5 buitenhoeken van het crossdock gemarkeerd. De 6 deuren in één hoek hebben maar 3 delen vloeroppervlak beschikbaar. Deze deuren zijn dus gevoeliger voor opstoppingen in de goederenstroom.

Om de kosten van een binnenhoek te kunnen bepalen moeten een aantal aannames worden gemaakt. Deze aannames zijn gebaseerd op waarden uit de praktijk.

Aannames:

- Een vrachtwagen is 16 meter lang
- Een dockdeur is 4 meter breed. (dit is de deur inclusief muur eromheen, de deuren kunnen natuurlijk niet tegen elkaar aan geplaatst zijn).
- Het crossdock is 6 deuren breed (24 meter).
- In de H-vorm zitten in het tussenstuk aan beide kanten 16 deuren. (waarvan 8 onbruikbaar doordat aan beide kanten een binnenhoek zit).
- In de T-vorm zijn beide segmenten even lang.

In de volgende tabel zet ik de centrality en het aantal hoeken naast elkaar.

Vorm	Centrality	Binnenhoeken	Buitenhoeken
I	2	0	4
L	2	1	5
T	3	2	6
H	4	4	8

De vraag is nu of het voordeel wat de extra centrality met zich meebrengt opweegt tegen de kosten van de extra hoeken.

⁷ Zie Appendix A voor een uitleg over Voronoi diagrammen

Uit bovenstaande tabel blijkt meteen dat de L-vorm geen voordeel heeft ten opzichte van een I-vorm. De centrality is gelijk, maar de L-vorm heeft wel de extra kosten van een binnenhoek. Vrachtwagens zijn 16 meter lang en een deur is 4 meter breed, dus aan beide zijden van de binnenhoek zijn tenminste $16/4 = 4$ deuren niet te gebruiken. Om een gelijk aantal bruikbare deuren te hebben in een L-dock in vergelijking met een I-dock moet het dock dus tenminste 8 deuren meer hebben. Het dock wordt dus tenminste 4 deurbreedtes langer. Dit betekent dat de diameter van een L-dock groter is dan de diameter van een I-dock bij hetzelfde aantal bruikbare deuren. De eerste conclusie die je uit dit model kunt trekken is dus dat een L-dock geen goede optie is.

De locatie van de deuren is ook van belang in het model. De ene deur is ‘beter’ dan de andere deur. Om te beoordelen wat een goede deur is, de volgende definitie:

Definitie: De beste deur is die deur met de kleinste gemiddelde afstand tot de andere deuren.

Analoog is de slechtste deur natuurlijk de deur met de grootste gemiddelde afstand tot de andere deuren.

Het is niet zo moeilijk in te zien dat de beste deuren in het centrum van het dock zullen liggen. Na dit geconstateerd te hebben kijken we nog eens naar een binnenhoek. Behalve het feit dat een binnenhoek een aantal deuren uitschakelt, zijn dit deuren die ongeveer in het centrum van het dock liggen. Met andere woorden, de uitgeschakelde deuren horen bij de beste deuren van het dock.

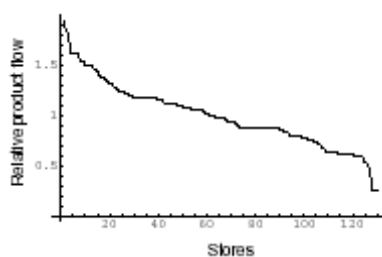
Om de vormen te beoordelen gaan we kijken naar de effectiviteit van het dock in het verplaatsen van goederenstromen. Ik kijk naar 2 verschillende goederenstromen:

- Uniforme goederenstroom: elke binnenkomende vrachtwagen stuurt een gelijke hoeveelheid goederen naar elke uitgaande deur. Dit zal in de praktijk niet voorkomen, maar is goed om de robuustheid van de conclusies te bekijken.
- Exponentiële goederenstroom: In een binnenkomende vrachtwagen zitten proportioneel meer goederen voor een groot filiaal dan voor een klein filiaal. De stroom f_j naar de j^{de} van n uitgaande bestemmingen is:

$$f_j = (u - l)e^{-12.8j/n} + l$$

Met u de maximumstroom en l de minimumstroom.

De verdeling van de exponentiële goederenstroom ziet er als volgt uit:



Figuur 5: Bron: [10]

Definitie:

I = de verzameling van deuren voor inkomende goederen

J = de verzameling van deuren voor uitgaande goederen

d_{ij} = de afstand tussen deur i en deur j

f_j = de goederenstroom naar deur j in een standardeenheid bijvoorbeeld kilo's

De totale 'kosten' van de goederenstroom = $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} f_j d_{ij}$

Om nu de 'kosten' van een goederenstroom te kunnen berekenen moet nog bepaald worden welke van de deuren voor inkomende goederen en welke van de deuren voor uitgaande goederen worden gebruikt. Dit wordt de 'lay-out' van het dock genoemd. Hier zijn 2 heuristieken voor. De resultaten van deze heuristieken blijken representatief te zijn voor de lay-out van werkelijke cross-docks.

Heuristiek 1: *Blok Heuristiek*

De deuren worden gelabeld op basis van hun gemiddelde afstand tot de andere deuren. De beste deuren worden deuren voor inkomende goederen. Vervolgens worden de overgebleven deuren toegewezen. De grootste goederenstroom gaat naar de beste deur die nog over is. Dit gaat net zolang door tot de kleinste goederenstroom aan de slechtste deur is toegewezen.

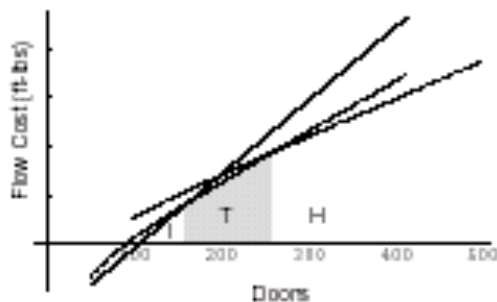
Heuristiek 2: *Afwisselende Heuristiek*

De deuren worden net zoals bij de blok heuristiek gelabeld. Vervolgens worden om en om deuren toegewezen voor inkomende en uitgaande goederen. Bij toewijzingen voor uitgaande deuren worden uiteraard eerst weer de grootste goederenstromen gebruikt.

De afwisselende heuristiek geeft betere resultaten dan de blok heuristiek. Dit komt omdat in de blok heuristiek de deuren waar veel goederen heen stromen niet de beste deuren zijn. Deze zijn immers allen voorbehouden aan de inkomende goederenstroom. In praktijk blijken de resultaten van de afwisselende heuristiek zo'n 10% beter te zijn dan de resultaten van de blok heuristiek.

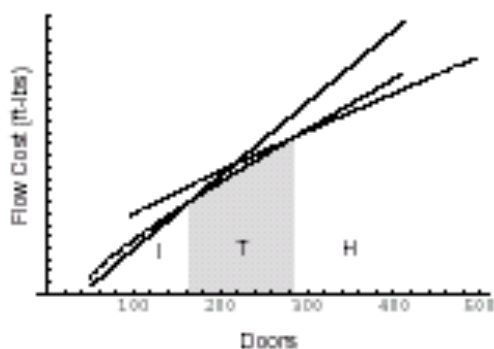
Resultaten:

De resultaten zijn gebaseerd op de afwisselende heuristiek.



Figuur 6: Bron: [10]

In Figuur 6 staan de totale 'kosten' van de goederenstroom uitgezet tegen het aantal dockdeuren. In deze figuur is gebruik gemaakt van de uniforme goederenstroom. Het blijkt dat voor kleine docks (< 160 deuren) de I-vorm de beste vorm is. Kennelijk liggen de slechtste deuren in dit geval nog dicht genoeg bij het centrum van het dock, zodat het voordeel van extra centrality van andere vormen niet opweegt tegen de kosten voor de extra hoeken. Voor middelgrote docks (> 160 en < 260 deuren) is de T-vorm de beste vorm. De extra centrality weegt op tegen de kosten van 2 binnenhoeken. Als voor middelgrote docks de I-vorm gebruikt wordt liggen de slechtste deuren te ver van het centrum van het dock. Voor grote docks (> 260 deuren) is de H-vorm het beste. Ondanks het feit dat veel deuren in het centrum van het dock niet gebruikt kunnen worden door de 4 binnenhoeken, is de extra centrality bij grote docks meer waard dan de extra 'kosten'.



Figuur 7: Bron: [10]

In figuur 7 staan de resultaten bij gebruikmaking van de exponentiële goederenstroom. De resultaten veranderen niet, alleen de breekpunten waarop een andere vorm interessant wordt liggen bij een groter aantal deuren. De logische verklaring hiervoor is dat in dit geval bij de I-vorm de slechtste deuren minder goederen te verwerken krijgen. Daarom zal het langer duren voor de opbrengst van extra centrality zal opwegen tegen de kosten van extra hoeken.

De resultaten voor de L-vorm staan niet in de grafieken, maar liggen boven de andere lijnen. Dit komt overeen met de conclusie die eerder al getrokken is dat de L-vorm geen goede keuze is.

Conclusie:

Onder de gemaakte aannamen geldt dat voor kleine docks de I-vorm de beste vorm is. Voor middelgrote docks is de T-vorm het beste en de resultaten van grote docks zijn het beste in geval van de H-vorm.

7.2 Op- en aanmerkingen op het model van Bartholdi en Gue

Naar mijn mening zit er in het model van Bartholdi en Gue een grote kern van waarheid. Het zal ongetwijfeld zo zijn dat bij bepaalde grootte van een cross-dock er betere vormen te verzinnen zijn dan de I-vorm. Intuïtief klopt dit ook wel. Maar er zijn een aantal punten waarop de modellering van Bartholdi en Gue misschien niet zo sterk is. Een voorbeeld daarvan is de modellering van de kosten. Deze is discutabel om tenminste 2 redenen. Ten eerste hebben Bartholdi en Gue geconstateerd dat een buitenhoek kosten met zich mee brengt in de vorm van minder beschikbaar vloeroppervlak voor de deuren in zo'n hoek, maar ze nemen dit niet mee in de modellering. Ten tweede worden de kosten berekend door het aantal kilo's te vermenigvuldigen met de afgelegde afstand. Dit lijkt een beetje vreemd. Het maakt voor de afgelegde afstand van een heftruck niet uit hoeveel gewicht hij mee neemt. Het lijkt me beter om puur naar de totale afgelegde afstand te kijken. In dit geval zal er naar alle ritten van de heftrucks gekeken moeten worden.

Een ander punt wat ze wel noemen maar niet meenemen in de modellering is het probleem van verstoppingen. Dit kan een heel groot probleem zijn, omdat het hele proces dan stil komt te liggen. Naar mijn mening moet dit dan ook op de één of andere manier worden meegenomen in het model, omdat het heel essentieel is. Bartholdi en Gue gaan ervan uit dat bij de gegeven breedte van het dock in hun model verstoppingen zich bijna niet voordoen. Daarom nemen ze verder niets mee in het model. Het is naar mijn mening wel mogelijk om deze verstoppingen in het model te verwerken. Tijdens de berekening is namelijk bekend welke hoeveelheid goederen naar welke deur gaat. De beschikbare vloerruimte per deur is ook bekend. Met deze gegevens aangevuld met praktijkervaring over wanneer verstoppingen zich voordoen kan het model aangevuld worden. Dan wordt het model uitgebreid met boetekosten in het geval zich een verstopping voordoet.

De heuristische voor de deurtoewijzing zijn naar mijn mening niet optimaal. De buitenhoeken zijn het meest gevoelig voor verstoppingen omdat het vloeroppervlak daar beperkt is. Door deze deuren te gebruiken voor bestemmingen met weinig goederenstroom, worden deze deuren ontlast. Ik denk dat de afwisselings heuristiek aangepast moet worden zodanig dat in de buitenhoeken alleen uitgaande deuren met een lage goederenstroom komen.

Het is niet duidelijk hoe de aankomst van vrachtwagens is gemodelleerd en de strategie van toewijzen van vrachtwagens aan ingaande deuren. Het is in praktijk natuurlijk zo dat vrachtwagens te laat kunnen komen, of dat er aan de ingaande kant een wachtrij ontstaat. Hoe daar in het model mee wordt omgegaan is niet duidelijk.

Al met al denk ik toch dat de resultaten van Bartholdi en Gue op zich wel kloppen. Alleen de breekpunten waarop andere vormen dan de I-vorm aantrekkelijk worden zijn door deze kritiekpunten wel op losse schroeven komen te staan. Dat neemt niet weg dat bij bepaalde grootte van het dock de diameter van een I-dock zo groot wordt dat andere vormen interessant worden.

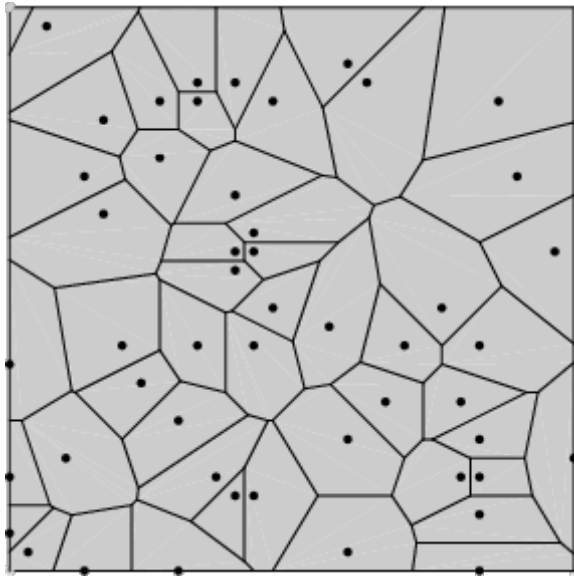
Appendix A: Voronoi diagram

Definitie: Laat P een set punten zijn in een plat vlak. Het Voronoi polygon dat punt $p \in P$ bevat is de verzameling van alle punten x waarvoor geldt dat de afstand van x tot p kleiner is dan de afstand van x tot q , voor alle punten $q \in P$, met $q \neq p$. [9]

Voorbeeld:

Stel je hebt een landkaart met daarop gemarkeerd de posities van zendmasten voor mobiele telefonie. Elke mobiele telefoon zoekt contact met de dichtstbijzijnde zendmast. Het Voronoi diagram van deze kaart geeft per zendmast precies het gebied aan waarin de mast de signalen van mobiele telefoons opvangt.

Voorbeeld van een Voronoi diagram:



Figuur x: Bron: [8]

9 Lijst van gebruikte literatuur

- [1] K.R. Gue *'Crossdocking: Just-In-Time for Distribution'*
<http://web.nps.navy.mil/~krgue/Teaching/xdock-mba.pdf>
2001

- [2] M. Johnson *'Developments in cross-docking in retailing'*
<http://www.iolt.org.uk/library/michaeljohnson.PDF>

- [3] E. Kinnear *'Is there any magic in cross-docking?'*
Supply Chain Management
1997 vol. 2

- [4] I. Vis *'Planning and control concepts for material handling systems'*
Erim PL.D. Series Research in Management 14
2002

- [5] H.M. Visser *'Werken met logistiek'*
A.R van Goor ISBN 90 20 73162 9
1999

- [6] <http://www.albertheijn.nl/albertheijn/ditisah/informatiebladen/article.jsp?id=986&trg=albertheijn/ditisah/informatiebladen/article>

- [7] http://projects.bus.lsu.edu/independent_study/vdHING1/othertopics/crossdocking.htm

- [8] <http://mathworld.wolfram.com/VoronoiDiagram.html>

- [9] <http://www.angelfire.com/mt/ofolives/DPvoronoi.html>

- [10] <http://web.nps.navy.mil/~krgue/shape-submitted.pdf>