

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

2 0 1 0
2 0 1 1

Masterproef

Analyse van de werking van intermodale terminals

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
dr. An CARIS

Leen Gorissen

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management
en logistiek*

2 0 1 0
2 0 1 1

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

Masterproef

Analyse van de werking van intermodale terminals

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
dr. An CARIS

Leen Gorissen

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

Voorwoord

Deze eindverhandeling heb ik geschreven ter afsluiting van mijn opleiding Handelsingenieur, afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek, aan de faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen van de Universiteit Hasselt. Ik heb voor het onderwerp van deze eindverhandeling gekozen omdat intermodaal transport een steeds belangrijker thema is in de logistieke sector. Het is een oplossing voor verschillende maatschappelijke problemen, waaronder bijvoorbeeld de milieuproblematiek. Daarnaast interesseerde ook het praktijkgedeelte, namelijk het maken van een simulatiemodel, mij omdat het werken met het softwareprogramma Rockwell Arena mij in eerdere opleidingsonderdelen wel beviel.

Tijdens het schrijven van deze eindverhandeling heb ik steeds op de medewerking en steun van enkele personen kunnen rekenen daarom wil ik hen graag bedanken. In de eerste plaats wil ik mijn promotor dr. Katrien Ramaekers bedanken voor de goede begeleiding. Ik kon steeds bij haar terecht voor vragen en tips. Daarnaast wil ik ook mijn co-promotor dr. An Caris bedanken voor haar hulp. Vervolgens wil ik ook een woord van dank richten tot de heer Harold Van Osselaer voor het vrijmaken van zijn tijd om mij een rondleiding te geven in de Mainhub in Antwerpen.

Verder wil ik ook graag mijn ouders bedanken omdat zij het mogelijk maakten voor mij om te gaan studeren aan de Universiteit Hasselt. Zij hebben mij ook steeds gesteund gedurende mijn opleiding. Ik wil ook mijn vriend bedanken, omdat hij mijn steun en toeverlaat was gedurende de afgelopen jaren. Tenslotte bedank ik ook mijn vrienden omdat zij ervoor zorgden dat ik een onvergetelijke studententijd beleefde.

Leen Gorissen

Mei 2011

Samenvatting

Het goederentransport blijft steeds toenemen. Dit transport gebeurt hoofdzakelijk via de weg. Het wegvervoer zorgt ook voor een aantal problemen zoals congestie en negatieve effecten op het leefmilieu. Een verschuiving naar transport via het spoor of de binnenvaart, oftewel intermodaal transport, kan deze problemen verminderen. Door een verhoogde interesse van de Europese overheden voor de milieuproblematiek zijn er promoties en subsidies ontstaan om het intermodaal transport te stimuleren. Dankzij deze promoties en subsidies is het gebruik van het intermodaal transport sterk gestegen ten opzichte van het ontstaan van deze dienst.

Het overbrengen van laadeenheden tussen verschillende transportmodi is een onvermijdelijke activiteit in intermodaal vervoer. Deze overslag van goederen gebeurt in een terminal. Doordat er bij het wegvervoer geen overslagkosten zijn, is het voor het intermodaal transport van groot belang dat de overslag zo efficiënt mogelijk gebeurt om competitief te zijn ten opzichte van het wegtransport.

Deze masterproef geeft aan de hand van een literatuurstudie een overzicht van verschillende factoren die een invloed hebben op de efficiëntie van de spoorwegterminal. Naast de literatuurstudie komt ook een casestudy van de Mainhub in Antwerpen aan bod. Hierin wordt de werking van een reële spoorwegterminal omschreven. Aan de hand van een simulatiemodel wordt daarna de invloed van enkele factoren op de efficiëntie van een spoorwegterminal nagegaan. Dit simulatiemodel zal een fictieve spoorwegterminal voorstellen, die gebaseerd is op elementen uit de literatuur en casestudy.

De literatuurstudie wordt opgesplitst volgens drie planningshorizonnen, namelijk strategisch, tactisch en operationeel. Strategische planning omvat beslissingen die vastliggen op lange termijn, terwijl tactische beslissingen over middellange termijn gaan en operationele planning korte termijn beslissingen omvat. Deze drie planningshorizonnen komen aan bod in de hoofdstukken 3, 4 en 5.

Hoofdstuk 2 zal een inleiding geven over de spoorwegterminal. Hierin komen onder meer verschillende vormen van de spoorwegterminal ter sprake, namelijk spoor-weg, spoor-spoor en spoorterminals in havengebieden. Daarnaast wordt er ook een overzicht gegeven van de situatie in enkele Europese landen, waaronder België.

Hoofdstuk 3 zal handelen over de eerder vermelde strategische planning. In dit hoofdstuk worden factoren besproken die vastliggen of zeer moeilijk te veranderen zijn. Deze factoren zijn de locatie, het marktbereik, het potentiële marktvolume en de lay-out van de terminal.

Tactische planning omvat factoren die voor een middellange termijn vastliggen, maar wel relatief gemakkelijk aangepast kunnen worden. De factoren die in hoofdstuk 4 aan bod komen zijn het aantal en de soorten overlaaduitrustingen, verschillende overlaadmethodes voor brugkranen, de fasen van de overlaadverrichtingen en de manier van stapelen van de containers in de opslagruimte.

Het laatste hoofdstuk van de literatuurstudie gaat over de operationele planning. Deze planning behandelt de dagelijkse beslissingen zoals de toewijzing van containers aan treinwagons en de bepaling van de werkruimte van een brugkraan. Dit zijn cruciale factoren voor een vlotte verloop van de handelingen in de spoorwegterminal.

Het zesde hoofdstuk beschrijft de werking van een spoorwegterminal in de realiteit. Het gaat hier meer bepaald over een casestudy van de Mainhub in Antwerpen. Dit is de grootste spoorwegterminal van België en is dus een interessant topic voor deze masterproef. Deze casestudy zal ook het simulatiemodel uit het praktijkgedeelte beïnvloeden.

Alvorens met het simuleren te beginnen, worden er in hoofdstuk 7 twee voorbeelden van simulatiemodellen uit de literatuur besproken. Het eerste voorbeeld (Rizzoli, Fornara & Gambardella, 2002) werd gekozen omdat het een zeer uitgebreide beschrijving geeft van een simulatiemodel. Het tweede voorbeeld (Kozan, 2006) gebruikt hetzelfde softwarepakket als deze masterproef, namelijk Rockwell Arena, en was dus een goede basis voor de uitwerking van het praktijkgedeelte.

In hoofdstuk 8 wordt het simulatiemodel besproken dat gebouwd werd met behulp van het softwareprogramma Rockwell Arena 11.0. Op basis van zestien scenario's wordt de invloed geanalyseerd van het aantal te verwerken containers, het aantal overlaaduitrustingen en het aankomstpatroon van de vrachtwagens en treinen op de doorlooptijd van de containers, de benutting van de overlaaduitrustingen en de winst die

uit de overlaadhandelingen voortvloeit. Deze zestien scenario's werden opgesteld aan de hand van een factorieel ontwerp. In dit hoofdstuk wordt geconcludeerd dat zowel het volume als het aantal overlaaduitrustingen een significante invloed hebben op de outputfactoren.

In het laatste hoofdstuk tenslotte worden de conclusies van de literatuurstudie en van het simulatiemodel met elkaar vergeleken. Dit vormt het algemene besluit van deze masterproef. Vooral het aantal overlaaduitrustingen heeft een invloed op de efficiëntie van de spoorwegterminal. Het is echter ook zeer belangrijk om een goede schatting te maken van het potentiële volume dat de terminal kan verwerken om geen overbodige investeringen te doen, maar het aantal overlaaduitrustingen is de enige factor die de terminaloperator volledig onder controle heeft.

Inhoudsopgave

Voorwoord	III
Samenvatting	V
Inhoudsopgave	IX
Lijst met gebruikte figuren	XIII
Lijst met gebruikte tabellen	XV
1. Probleemstelling	1
1.1 Het praktijkprobleem	1
1.2 De onderzoeksvragen.....	2
1.3 Onderzoeksopzet	5
2. Terminals	7
2.1 Opdeling volgens transportmodi	7
2.1.1 spoor-wegterminals.....	7
2.1.2 spoor-spoorterminals.....	8
2.1.3 spoorterminals in havengebieden	8
2.2 Spoorterminals in Europa.....	9
2.2.1 Duitsland.....	9
2.2.2 Frankrijk	9
2.2.3 Italië.....	9
2.2.4 België	9
3. Strategische planning	11
3.1 Locatiebepaling van een terminal.....	11
3.2 Het marktgebied van de terminal bepalen	14
3.3 Het potentiële volume van de terminal bepalen	16
3.4 Het design van de terminal bepalen	16
3.4.1 Het bepalen van de functie en lengte van de sporen	16
3.4.2 Toegang tot de terminal.....	17
3.5 Conclusie.....	17
4. Tactische planning	19
4.1 Aantal en type van overlaaduitrustingen.....	19
4.2 Verschillende overlaadmethodes voor brugkranen bij spoor-spoor transfers	21
4.2.1 De parallelle werkingsmodus.....	22
4.2.2 De zigzag werkingsmodus	23

4.2.3 De <i>parallele (II)</i> werkingsmodus.....	23
4.2.4 De <i>ontlaad</i> werkingsmodus.....	24
4.3 De overlaadverrichtingen.....	25
4.4 Het stapelen van containers.....	25
4.5 Conclusie.....	26
5. Operationele planning.....	29
5.1 Bepaling van werkruimte van een kraan	29
5.2 Toewijzen van containers aan treinwagons (load plan)	31
5.3 Conclusie.....	32
6. De Mainhub in Antwerpen	33
7. Voorbeelden van terminalsimulaties in de literatuur.....	37
7.1 Simulatie van Rizzoli, Fornara & Gambardella (2002)	37
7.1.1 Aankomstpatroon van treinen	37
7.1.2 Aankomstpatroon van trucks	38
7.1.3 Container wordt afgeleverd door een truck en opgehaald door een trein.....	38
7.1.4 Container wordt afgeleverd door een trein en opgehaald door een truck.....	39
7.1.5 Het laden en ontladen van de trein.....	39
7.1.6 Resultaten van de simulatie.....	40
7.2 Simulatie van Kozan (2006)	40
7.2.1 Aankomstpatroon van trucks en treinen	41
7.2.2 Het laden en ontladen door de overlaaduitrustingen	41
7.2.3 Resultaten van de simulatie.....	42
8. Simulatie van een spoorterminal.....	43
8.1 Omschrijving van de simulatie	43
8.2 De keuze van de inputparameters.....	47
8.2.1 Het aantal te verwerken containers	47
8.2.2 Het aantal overlaaduitrustingen	48
8.2.3 Het aankomstpatroon van de vrachtwagens.....	49
8.3 De keuze van de outputfactoren.....	49
8.3.1 De benutting van de overlaaduitrustingen	49
8.3.2 De doorlooptijd van de containers	50
8.3.3 Relevante kosten en opbrengsten bij overslag en opslag	50
8.4 Het factorieel ontwerp	51
8.4.1 Berekening van de outputfactoren.....	51
8.4.2 Berekening van de hoofd- en interactie-effecten.....	56

8.5 Conclusie.....	60
9. Link tussen de literatuurstudie en het praktijkgedeelte	63
9.1 Bespreking van de inputfactoren.....	63
9.2 Bespreking van de outputfactoren	64
9.3 Bemerkingen.....	64
Referentielijst	67
Bijlagen	71
<i>Bijlage 1: Het model van Bottani & Rizzi (2007) om het aangetrokken volume van een terminal te bepalen.....</i>	<i>71</i>
<i>Bijlage 2: Simulatiemodel in 'Rockwell Arena 11.0'.....</i>	<i>74</i>
<i>Bijlage 3: Inputgegevens van de simulatie</i>	<i>77</i>
<i>Bijlage 4: Hoofd- en interactive-effecten van het factorieel ontwerp.</i>	<i>80</i>
<i>Bijlage 5: De berekening van de interpretatiewaarden.</i>	<i>87</i>

Lijst met gebruikte figuren

Figuur 1: Intermodaal transport (Bron: UIRR).....	1
Figuur 2: Lay-out van een spoor-wegterminal (Bron: Ballis & Golias, 2002).....	8
Figuur 3: De geschatte grootte van het markt bereik (Bron: Limbourg & Jourquin, 2010).	14
Figuur 4: Het markt bereik van een terminal met meerdere verbindingen (Bron: Limbourg & Jourquin, 2010).....	15
Figuur 5: Rubber tyred gantry crane en rail mounted gantry crane (Bron: Wikipedia)..	20
Figuur 6: Reachstacker en straddle carrier (Bron: Wikipedia).....	20
Figuur 7: Parallele werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).....	22
Figuur 8: De zigzag werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).....	23
Figuur 9: De ontlaad werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).....	24
Figuur 10: Vier fasen bij het overladen (Bron: Ballis & Golias, 2002).....	25
Figuur 11: Mainhub Antwerpen (Bron: Google Maps, 2011).....	33
Figuur 12: Simulatiemodel, deel 1.....	44
Figuur 13: Simulatiemodel, deel 2.....	44
Figuur 14: Simulatiemodel, deel 3.....	45
Figuur 15: Simulatiemodel, deel 4.....	45
Figuur 16: Simulatiemodel, deel 5.....	46

Figuur 17: Simulatiemodel, deel 6.	46
Figuur 18: Simulatiemodel, deel 7.	46
Figuur 19: Simulatiemodel, deel 8.	47
Figuur 20: Simulatiemodel, deel 9.	47
Figuur 21: Kostenstructuur voor weg- en intermodaal transport, Cd (Bron: Bottani & Rizzi, 2007).	72
Figuur 22: Ct, de bereidheid tot overschakelen t.g.v. tijd.....	73

Lijst met gebruikte tabellen

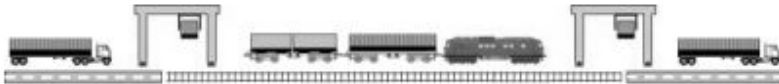
Tabel 1: Terminals die eigendom zijn van IFB (Bron: IFB, z.d.)	10
Tabel 2: Literatuuroverzicht strategische planning.	11
Tabel 3: Literatuuroverzicht tactische planning.....	19
Tabel 4: Literatuuroverzicht operationele planning.....	29
Tabel 5: Service tijden en wachttijden aan de road gates (Bron: Rizzoli et al., 2002). .	40
Tabel 6: Tijdstabel van treinen (Bron: Kozan, 2006).....	41
Tabel 7: De totale kost van de verschillende scenario's (Bron: Kozan, 2006).....	42
Tabel 8: Relevante kosten bij overslag en opslag.....	50
Tabel 9: De scenario's voor het simulatiemodel.....	51
Tabel 10: Factorieel ontwerp: benutting van de reachstackers.....	52
Tabel 11: Factorieel ontwerp: benutting van de brugkranen.....	52
Tabel 12: Factorieel ontwerp: doorlooptijd van de exportcontainers.....	53
Tabel 13: Factorieel ontwerp: doorlooptijd van de importcontainers.....	54
Tabel 14: Factorieel ontwerp: winst per jaar.....	55
Tabel 15: Hoofd- en interactie-effecten van het factorieel ontwerp.....	56
Tabel 16: Waarden voor het interpretatie van de effecten.....	57

1. Probleemstelling

1.1 Het praktijkprobleem

Het goederentransport neemt steeds maar toe. Vooral de toename van het wegvervoer speelt hierin een dominante rol. Deze toename van het goederentransport over de weg zorgt ook voor een aantal problemen zoals congestie op de weg waardoor de betrouwbaarheid van wegvervoer afneemt. Bovendien heeft het wegvervoer een negatief effect op het leefmilieu. Deze problemen kunnen vermeden worden door een verschuiving van het goederentransport naar spoor en binnenvaart oftewel intermodaal transport (Konings et al., 2006).

De *European Conference of Ministers of Transport* [ECMT] definieert intermodaal transport als het vervoer van goederen in één ladingseenheid door twee of meerdere transportmiddelen, zonder dat de goederen behandeld worden wanneer van transportmiddel gewisseld wordt (Figuur 1).



Figuur 1: Intermodaal transport (Bron: UIRR).

Uit een onderzoek van Bontekoning et al. (2004) blijkt dat er geen eenduidige definitie bestaat voor intermodaal transport. Dit komt doordat iedere onderzoeker zijn definitie aanpast aan het gebied en het doel van zijn studie. De definitie van de ECMT heeft als nadeel dat het enkel een benadering is van de fysieke kenmerken van intermodaal transport en dat er geen rekening gehouden wordt met organisatorische kenmerken.

In Europa is het gebruik van intermodaal transport sterk gestegen ten opzichte van het ontstaan van deze dienst. Deze groei is deels te wijten aan promoties en subsidies die te verkrijgen zijn in verschillende EU landen. Deze subsidies komen onder andere voort uit een verhoogde beleidsaandacht voor de milieuproblematiek. Zowel op het vlak van energieverbruik, luchtvervuiling, geluidsoverlast en verkeersongevallen scoort intermodaal vervoer beter dan het unimodaal wegvervoer (Ballis & Golias, 2002; Macharis & Verbeke, 1999).

Om het marktaandeel van het intermodaal transport verder te laten groeien, is het noodzakelijk dat de efficiëntie in bestaande markten verbeterd wordt om het markt bereik te vergroten. Daarnaast moeten nieuwe markten ontwikkeld worden. Om dit te kunnen realiseren, zullen de bestaande intermodale structuren verbeterd moeten worden. Drie factoren die het markt bereik kunnen beïnvloeden zijn de terminaloverslag, de netwerkverplaatsing en het voor- en natransport (Konings et al, 2006). Deze masterproef beschrijft hoe de efficiëntie van terminals kan verbeterd worden.

Het overbrengen van laadeenheden tussen verschillende transportmodi is een onvermijdelijke activiteit in intermodaal vervoer. Deze overslag van goederen gebeurt in een terminal. In het spoorwegtransport werden treinen oorspronkelijk naar een zijspoor geleid om goederen over te brengen. Tegenwoordig kunnen ladingseenheden van de wagons gescheiden worden zodat men gebruik kan maken van een terminal in plaats van zijsporen (Bontekoning et al., 2004). Terminals bieden de ruimte, het materiaal en de operationele omgeving om intermodale transporteenheden tussen de verschillende transportmodi uit te wisselen. De uitrusting van een terminal kan gaan van een simpele terminal die de transfer tussen transportmiddelen garandeert, tot meer uitgebreide constructies die extra diensten bieden zoals opslag en leeggoed depots, onderhoud, reparatie... (Ballis & Golias, 2002).

Intermodale terminals worden nog vaak geleid zonder gebruik te maken van informatietechnologieën, managers vertrouwen op hun eigen ervaring. Voorlopig zijn er nog voldoende middelen zoals sporen, uitrusting en human resources om aan de huidige vraag naar goederentransport te voldoen. Maar door de sterke groei van het goederentransport verouderen de infrastructures en management tools, en gaat men niet meer aan de vraag kunnen voldoen (Rizzoli et al., 2002).

1.2 De onderzoeksvragen

Het overladen van goederen is een cruciaal moment in de transportketen. Bij intermodaal transport wordt dit moment nog belangrijker doordat de lading rechtstreeks van de ene transportmodus op de andere geplaatst wordt en er meestal een zeer strakke planning is waarbij verschillende partijen, met verschillende behoeften, betrokken zijn. (Bontekoning et al., 2004).

Dit leidt tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

Hoe kan de efficiëntie van een intermodale spoorwegterminal verbeterd worden zodanig dat het intermodaal vervoer aantrekkelijker wordt?

Om een terminal zo efficiënt mogelijk te laten werken, moeten er een aantal beslissingen in verband met planning en controle genomen worden. Er bestaan drie niveaus waarop beslissingen genomen kunnen worden, namelijk op strategisch niveau, op tactisch niveau en op operationeel niveau (Bontekoning et al., 2004; Vis & de Koster, 2003). Hieruit volgen drie deelvragen:

- o *Welke mogelijkheden zijn er op strategisch niveau om intermodale spoorwegterminals efficiënter te maken?*

Strategische beslissingen houden verband met ontwikkelingen op lange termijn en gebeuren wanneer de strategie van de terminal bepaald wordt. Op dit niveau worden er afwegingen gedaan in verband met efficiëntie en kosten. Het gaat hier meestal over grote investeringen en belangrijke aanpassingen aan de infrastructuur van de terminal (Crainic et al., 1990; Ceyskens, 2007). Men focust zich hier dus vooral op beslissingen in verband met design en het infrastructuurnetwerk. Deze beslissingen worden gegroepeerd onder de noemer *system design*. Voorbeelden hiervan zijn:

- De locatie van terminals
- De bepaling van de capaciteit, zoals het aantal sporen
- De keuze van materialen

Het design van een terminal is ook gerelateerd aan het aantal beschikbare plaatsen voor overlading, de grootte van de opslagplaats e.d. (Crainic & Kim, 2007).

- o *Welke mogelijkheden zijn er op tactisch niveau om terminals efficiënter te maken?*

Op tactisch niveau bepaalt men richtlijnen over operationele strategieën. Deze beslissingen gebeuren wanneer er aanpassingen gedaan worden aan een terminal, zoals een uitbreiding om aan de groeiende vraag naar goederentransport te voldoen. Het zijn dus ook lange termijn beslissingen (Ceyskens, 2007). Voorbeelden hiervan zijn: op welke routes men diensten aanbiedt, het soort diensten dat men aanbiedt, hoe ladingen doorheen het spoornetwerk geleid worden en de bepaling van het aantal en de soorten

overlaaduitrustingen. Deze beslissingen hebben als doel de klantentevredenheid op peil te houden en winst te maken door middelen efficiënt te gebruiken (Crainic & Kim, 2007).

- o *Welke mogelijkheden zijn er op operationeel niveau om terminals efficiënter te maken?*

Op operationeel niveau worden dagelijkse beslissingen gemaakt, deze zijn dan ook meestal tijdelijk en bouwen voort op de richtlijnen op tactisch niveau. De competitiviteit van een terminal wordt gemeten aan de hand van het serviceniveau. Om klanten tevreden te houden, moeten de wachttijden zo laag mogelijk gehouden worden. Dit kan men bereiken door de middelen zo efficiënt mogelijk te verdelen. Voorbeelden van operationele beslissingen zijn het beheren van tijdstabellen, het bepalen van voorrangregels voor treinen, het bepalen van opslaglocaties voor containers, het coördineren van in- en uitlaadoperaties... (Crainic et al., 1990; Ceyskens, 2007).

De werking van een grote terminal is zeer complex en het is dus belangrijk dat aanpassingen en strategieën eerst getest worden door betrouwbare methoden. Een simulatie biedt zo een betrouwbare omgeving waarin aanpassingen uitgetest kunnen worden alvorens te investeren in nieuwe materialen en aanpassingen te implementeren in de terminal (Ceyskens, 2007; Rizzoli et al., 2002). Dit leidt tot een vierde deelvraag:

- o *Welke rol kan simulatie hebben bij het verbeteren van de efficiëntie van spoorwegterminals?*

Het laatste venster van deze masterproef zal een link leggen tussen de literatuurstudie en het praktijkgedeelte, namelijk de simulatie. Hierin komen de gelijkenissen en verschillen tussen deze twee delen aan bod. Dit deel zal het algemene besluit van dit werkstuk vormen. De laatste deelvraag is dus:

- o *Welke linken kunnen er gelegd worden tussen de literatuurstudie en de simulatie?*

1.3 Onderzoeksopzet

Een eerste fase van dit werkstuk zal een overzicht zijn van de literatuurstudie op basis van wetenschappelijke artikels. De relevante informatiebronnen voor deze literatuurstudie zullen hoofdzakelijk elektronische databases zijn, maar daarnaast zullen ook wetenschappelijke boeken en tijdschriften geraadpleegd worden. Op basis van de literatuurstudie zal er een antwoord op de eerste drie deelvragen gevormd worden.

Een tweede luik in deze masterproef is het simuleren van een spoorwegterminal met behulp van het computerprogramma Rockwell Arena. Simulatiesoftware kan de werking van een systeem nabootsten over een bepaalde tijdsspanne. Het voordeel van een simulatie is dat vrij ingewikkelde systemen toch waarheidsgetrouw voorgesteld kunnen worden. Daarnaast kunnen verschillende scenario's gesimuleerd worden om een overzicht te krijgen van de efficiëntie van een systeem. In dit werkstuk zullen dan ook verschillende scenario's over de werking van een spoorwegterminal opgezet worden om de efficiëntie ervan te analyseren.

In het laatste deel van het werkstuk worden de vorige twee luiken samengebracht: de conclusies van de literatuurstudie en de simulatie zullen hier met elkaar vergeleken worden. Er zal een verklaring gezocht worden voor de gelijkenissen en verschillen tussen de bevindingen van beide delen.

2. Terminals

In dit hoofdstuk wordt er meer informatie gegeven over terminals in het algemeen. In een eerste deel worden de terminals opgedeeld volgens de transportmodi die ze bedienen (waarvan één van de transportmodi sowieso het spoor is). Hier zal de algemene infrastructuur van een terminal weergegeven worden en zullen enkele termen verklaard worden. In een volgend deel komen gegevens aan bod over de organisatie en werking van terminals in enkele Europese landen. Hierin zal vooral gekeken worden naar de stand van zaken in België.

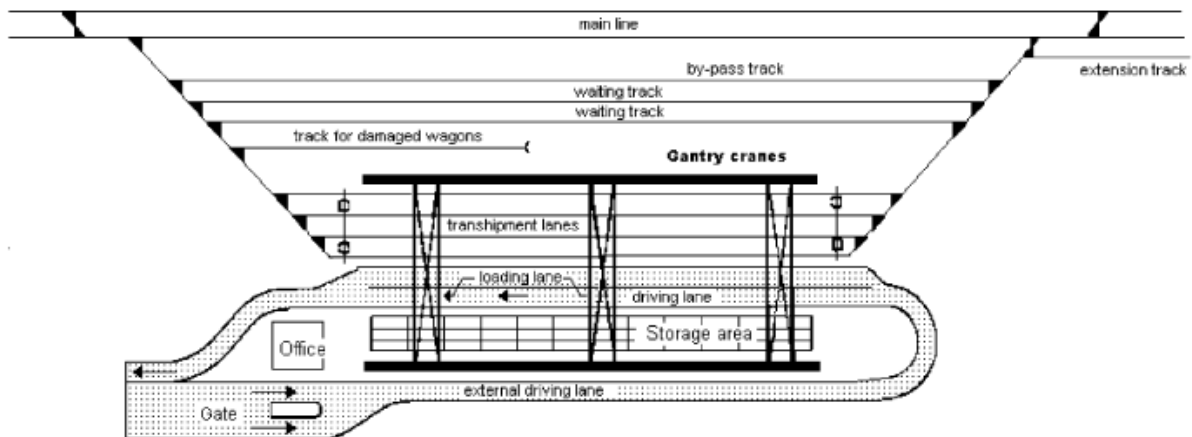
2.1 Opdeling volgens transportmodi

2.1.1 spoor-wegterminals

In een spoor-wegterminal worden de ruimte, het materiaal en de operationele mogelijkheden voorzien om containers van treinen naar vrachtwagens, en omgekeerd, over te laden. In zijn meest eenvoudige vorm is dit enkel de infrastructuur voor de transfer van ladingen. Meestal zijn terminals echter uitgebreid met opslagruimten, depots voor lege containers, voorzieningen voor onderhoud en reparatie en dergelijke (Ballis & Golias, 2002).

Een standaard spoor-wegterminal bestaat uit enkele overlaadsporen, een laad- en rijstrook voor vrachtwagens en een opslagruimte (Figuur 2). Deze drie zones worden meestal overspannen door enkele brugkranen die containers verplaatsen van trein naar truck of naar de opslagruimte. Containers kunnen echter ook overgeladen worden door andere overlaaduitrustingen zoals vorkheftrucks of reachstackers. Tenslotte is een spoorwegterminal ook uitgerust met enkele sporen waar treinen wachten voor of na het (ont)laden (Ballis & Golias, 2002; Boysen & Fliedner, 2010).

Vaak gebeuren het laden en ontladen van een trein gelijktijdig. Wanneer een trein in de terminal arriveert, staan er reeds verscheidene trucks te wachten om containers op te halen of af te leveren. Alle trucks krijgen een locatie op het platform naast een wagon toegewezen. Als deze wagon beschikbaar is, wordt de container overgeladen. Als de wagon echter nog niet beschikbaar is, moet de container op de grond geplaatst worden totdat de wagon ontladen is. Dit noemt men double handling (Corry & Kozan, 2006).



Figuur 2: Lay-out van een spoor-wegterminal (Bron: Ballis & Golias, 2002).

2.1.2 spoor-spoorterminals

Een spoor-spoorterminal is gelijkaardig aan een spoor-wegterminal, maar dan zonder rij- en parkeerstrook voor trucks. De overlaadsporen en opslagruimten worden overbrugd door een brugkraan, en overlaaduitrustingen verplaatsen containers binnen de opslagruimten (Bostel & Dejax, 1998). Het aantal sporen varieert naar gelang de capaciteit die nodig is om aan de vraag van de terminal te voldoen.

2.1.3 spoorterminals in havengebieden

Wanneer een spoorterminal zich in de nabijheid van een havengebied bevindt, wordt er een onderscheid gemaakt tussen twee soorten, namelijk een on-dock spoorterminal en near-dock spoorterminal (Hansen, 2004). Bij de eerste soort, zoals de naam doet vermoeden, liggen de sporen op de dokken zelf. Meestal zijn deze terminals beperkt door de geringe ruimte die beschikbaar is. Een near-dock terminal ligt enkele kilometers verwijderd van de haven. Deze soort heeft als nadeel dat er nog transport nodig is tussen de haven en de spoorterminal, maar dit wordt gecompenseerd door meer ruimte, lagere grondprijzen... Doordat de afstand tot de haven slechts klein is, is er nog steeds een goede communicatie en samenwerking tussen de haven en de spoorterminal mogelijk. Hierdoor kan de near-dock terminal flexibeler zijn dan terminals die verder van de haven gelegen zijn.

2.2 Spoorterminals in Europa

2.2.1 Duitsland

Het grootste deel van de terminals in Duitsland zijn spoorwegterminals. Deze worden beheerd door de Deutsche Bundesbahn [DB]. DB besteedt echter verscheidene diensten uit aan gespecialiseerde bedrijven, zodat de terminalbediening steeds meer een regionale aangelegenheid wordt (Sociaal-economische raad van Vlaanderen [SERV], 1993).

2.2.2 Frankrijk

In Frankrijk is het beheer van de terminals erg verspreid. Er zijn zowel particuliere initiatieven van transport- en distributieondernemingen als initiatieven van lagere overheden, en dan vooral van de Kamers van Koophandel. Door de onduidelijke structuur wordt de ontwikkeling van het intermodaal transport hier dan ook vertraagd (SERV, 1993).

2.2.3 Italië

Ook Italië is een voorname speler op de Europese intermodale transportmarkt. In Italië bevinden zich zowel terminals van grote buitenlandse maatschappijen als kleinere Italiaanse binnenlandterminals. Hiernaast zijn er specifiek in Italië ook nog de interporti. Deze terminals bieden verscheidene diensten aan, waaronder overslag, conventioneel spoorvervoer, opslag, voor- en natransport, onderhoud, reparatie... (SERV, 1993).

2.2.4 België

In België zijn terminals alleen rendabel op strategische plaatsen. Dit zijn meestal plaatsen waar veel vrachtvervoer gebeurt, dicht bij industriezones of op een centrale locatie. Verdere ontwikkeling van het Belgische intermodale netwerk heeft ondersteuning nodig van de overheid. Een probleem dat echter kan ontstaan door overheidssteun is de bouw van terminals die niet rendabel zijn (Macharis & Verbeke, 1999).

Voor het beheer van spoorwegterminals is er in België één grote speler, namelijk Inter Ferry Boats [IFB]. IFB is eigenaar van vier terminals (Tabel 1). Daarnaast participeert of

heeft IFB bevoorrechte toegang tot enkele andere terminals. Van de vier terminals die IFB bezit, liggen er drie in Antwerpen: Mainhub, Zomerweg en Terminal cirkeldyck. De vierde terminal is dry port Muizen. Er zijn drie terminals waarin IFB participeert, Liège logistics intermodal sa, Terminal Genk nv en Charleroi dry port sa. Tenslotte zijn er nog vijf terminals in België waar IFB een bevoorrechte toegang heeft. Deze terminals zijn 'Associated Terminal Operators' in Antwerpen, 'Terminal ECE sa' in Luik, 'Terminal Athus sa' in Athus, 'Dry port Mouscron Lille sa' in Moeskroen en 'Combinant nv' in Antwerpen (IFB, z.d.).

Tabel 1: Terminals die eigendom zijn van IFB (Bron: IFB, z.d.).

MAINHUB	ZOMERWEG	TERMINAL CIRKELDYCK	DRY PORT MUIZEN
150 000 m ²	77 000 m ²	7 000 m ²	42 000 m ²
8 overlaadsporen		4 overlaadsporen	4 overlaadsporen
3 brugkranen	3 brugkranen	2 brugkranen	2 brugkranen
9 straddle carriers	6 straddle carriers	4 straddle carriers & 1 reach-stacker	2 reach-stackers

Naast deze terminals zijn er nog kleinere terminals die nichemarkten bedienen. Een voorbeeld hiervan is de terminal van Ambrogio in Mechelen. Deze terminal richt zich op ladingen met als bestemming Italië. Een tweede voorbeeld bevindt zich eveneens in Mechelen. Dit is de terminal van Haesaerts, die zich toespitst op het transport van chemische producten (Macharis & Verbeke, 1999).

3. Strategische planning

Op strategisch niveau worden in een terminal beslissingen genomen om resultaten op langere termijn te bereiken. Deze beslissingen bepalen de locatie en lay-out van de terminal (Caris et al., 2008; Ceyskens, 2007).

Iedere terminal heeft zijn specifieke lay-out en eigen operationele beleid. Doordat verschillende parameters ook nog sterk met elkaar gerelateerd zijn, wordt het een zeer complex systeem. De locatie van een terminal wordt bijvoorbeeld bepaald door de locatie van distributiecentra en concurrerende terminals, de nabijheid van spoor- en wegnetwerken, de beschikbaarheid en kosten van een locatie, enzovoort (Ballis & Golias, 2002; Corry & Kozan, 2006). Tabel 2 geeft een overzicht van de topics die in dit hoofdstuk besproken zullen worden.

Tabel 2: Literatuuroverzicht strategische planning.

STRATEGISCHE PLANNING		
Definitie:	Beslissingen om resultaten op lange termijn te bereiken	
Besproken topics:	De locatie van een terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Arnold et al., 2004 • Benson, Bugg & Whitehead, 1994 • Bergqvist & Tornberg, 2008 • Limbourg & Jourquin, 2009 • OECD, 1992
	Het markt bereik van een terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Limbourg & Jourquin, 2010 • Niérat, 1997
	Het potentiële volume van een terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Bottani & Rizzi, 2007
	Het design van een terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Ballis & Golias, 2002

3.1 Locatiebepaling van een terminal

Het is belangrijk dat een terminal gelegen is nabij plaatsen waar veel goederen geproduceerd of geconsumeerd worden. Het centrum van een dorp of stad lijkt dus zeer

aantrekkelijk, maar is meestal niet zo interessant voor een terminaloperator. Enkele redenen hiervoor zijn dat (1) de grond in steden vaak bezet of veel te duur is, (2) dat er sneller congestie van de wegen gaat ontstaan en (3) dat geluid, rook, visuele aspecten... hinderlijk zijn voor de gemeenschap. Deze redenen hebben ervoor gezorgd dat de industrie zich ging ontwikkelen in de buitenrand van steden, en ook de terminaloperatoren zijn hierin gevolgd. De buitenrand van steden heeft voor de terminaloperator als voordeel dat de grond goedkoper is, dat jonge ontwikkelende industrie hier ook gelegen is en dat het toch nog dicht gelegen is bij de industrie en consumenten die zich in het stadscentrum bevinden (Benson, Bugg & Whitehead, 1994).

De locatie van een terminal is een belangrijke factor wanneer men de competitiviteit van een terminal gaat bekijken, maar ook voor de efficiëntie van het intermodale transport in zijn geheel (Arnold et al., 2004). De beslissing om een nieuwe terminal te openen, wordt meestal genomen op nationaal of zelfs regionaal niveau. Hierdoor worden vaak beslissingen genomen die niet optimaal zijn op internationale schaal zodat de efficiëntie van het Europese netwerk afneemt (Limbourg & Jourquin, 2009).

Methodes voor het bepalen van een terminallocatie baseren zich dikwijls op economische factoren, op omgevingsfactoren of op kwaliteitsaspecten. Meestal gebruikt een model slechts één van deze factoren en worden de andere uitgesloten. In een economisch model kunnen ook omgevings- en kwaliteitskosten geïmplementeerd worden. Deze benadering steunt echter op assumpties en het is niet altijd eenvoudig om omgevings- en kwaliteitsaspecten om te zetten in kosten. Om deze modellen te verwerken en te evalueren wordt meestal gebruik gemaakt van geografische informatiesystemen [GIS] (Bergqvist & Tornberg, 2008).

Het OECD-model beschrijft het transportsysteem als bestaande uit vijf lagen: goederenstroom, transportactiviteit, gegevensverwerking, transportinfrastructuur en telecommunicatie-infrastructuur. Deze vijf lagen werken op elkaar in en zijn een vereiste voor iedere transportverplaatsing. Als de infrastructuur tegelijkertijd rekening houdt met private behoeften en met de marktontwikkeling is de duurzaamheid van het transportsysteem gewaarborgd (OECD, 1992 in Bergqvist & Tornberg, 2008).

Het proces voor het bepalen van de terminallocatie bestaat uit drie fasen: het verzamelen van gegevens, het modelleren en het evalueren. Het model wordt gebaseerd

op drie lagen, namelijk de goederenstroom, de activiteiten en de infrastructuur. Om het model te kunnen beschrijven en analyseren zijn veel gegevens nodig, vooral omtrent de activiteiten omdat deze veel kwalitatieve aspecten van het gedrag van de aanbieders van logistieke diensten en de systeemontwerpen en –logica omvatten. Als inputdata voor het model van Bergqvist en Tornberg (2008) worden de variabelen goederenstroom en infrastructuur gebruikt.

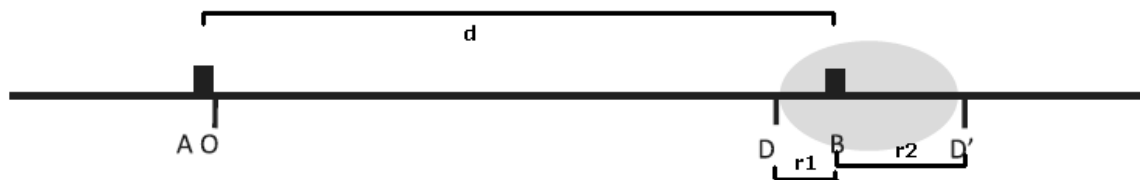
Het modelleren van het model van Bergqvist en Tornberg (2008) gebeurt met een geografisch informatiesysteem. Gebieden die verbinding hebben met het spoornetwerk worden verdeeld in cellen van 600 x 600 meter zodat de cellen groot genoeg zijn om een intermodale terminal te bevatten. De cellen worden dan geëlimineerd op basis van de aanwezigheid van gebouwen en de afwezigheid van wegeninfrastructuur. Daarna worden de overblijvende cellen geëvalueerd op kosten, de omgevingsimpact en de kwaliteit van de diensten. De kostenraming gebeurt door middel van het berekenen van het gewicht per afstand (ton/km). Vervolgens wordt het pad met de minste kosten bepaald met behulp van het Dijkstra-algoritme. De omgevingsimpact bestaat uit twee componenten: emissie en lawaai. De emissie is lineair ten opzichte van de afgelegde afstand. De omvang van het lawaai wordt bepaald door het aantal voertuigen, de snelheidsbeperkingen, de afstand van de inwoners tot de weg en het aantal inwoners dat gepasseerd werd op weg van en naar een terminal. Het kwaliteitsaspect in het logistieke systeem wordt geëvalueerd aan de hand van de doorvoersnelheid van de goederenstroom. Men veronderstelt dat de locatie die het minste ton/km produceert de hoogste kwaliteit biedt ten aanzien van tijd.

Het spoorwegtransport kan op twee manieren geanalyseerd worden, namelijk in vergelijking met het wegtransport en in vergelijking met andere mogelijke terminallocaties. Wanneer de goederenstroom wordt onderverdeeld in oostelijke en westelijke bestemmingen, zullen de terminallocaties verschillende waarden hebben in ton/km zelfs wanneer ze eenzelfde hoeveelheid goederen verwerken. Er is ook een verschil in ton/km tussen spoor- en wegtransport, maar dit is niet onmiddellijk te vergelijken aangezien de verschillende transportmodi een verschillende kostenstructuur en omgevingsimpact hebben (Bergqvist & Tornberg, 2008).

3.2 Het marktgebied van de terminal bepalen

Nadat de locatie bepaald is, wordt het marktgebied van deze locatie berekend. Het is belangrijk om dit gebied te kennen alvorens het potentiële verwerkbare volume te kunnen bepalen. Het kan ook gebeuren dat deze factoren geïntegreerd worden in de locatiebepaling.

Het marktgebied van de terminal kan gedefinieerd worden als een regio waarbinnen het intermodaal transport competitief is ten opzichte van het wegtransport. Men veronderstelt hierbij dat een bedrijf dat goederen wil transporteren van een oorsprong naar een bestemming de combinatie van transportmodi kiest die het goedkoopst is. De kosten bestaan uit een vast en een variabel gedeelte, met het variabel deel proportioneel ten opzichte van de afstand tussen de oorsprong en bestemming (Limbourg & Jourquin, 2010). Niérat (1997) heeft aangetoond dat de verzameling punten M, waarbij het weg- en intermodaal transport dezelfde kosten hebben, op een ellips, parabool of hyperbool liggen afhankelijk van de verhouding tussen de eenheidskost van lange afstand wegtransport en de eenheidskost van pre- of posttransport. In het meest realistische geval dat het pre- of posttransport duurder is dan het wegtransport over een lange afstand liggen deze punten op een ellips. Binnen in de ellips is het intermodaal transport voordeliger dan het wegtransport over een lange afstand.



Figuur 3: De geschatte grootte van het marktgebied (Bron: Limbourg & Jourquin, 2010).

A: Terminal in de buurt van de oorsprong B: Terminal in de buurt van de bestemming
O: Oorsprong D en D': Bestemming
Bestemming D ligt dichterbij O dan terminal B, bestemming D' ligt verder van O dan terminal B.

Het marktgebied wordt bepaald door de afstand tussen bestemming D en terminal B ($=r_1$), en de afstand tussen bestemming D' en terminal B ($=r_2$). Voor het berekenen van deze afstanden wordt verondersteld dat de afstand die door het pretransport af te leggen is tussen de oorsprong en terminal A te verwaarlozen is. De kosten van het weg- en intermodaal transport kunnen als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Kost wegtransport} = c_r(d - r_1) \quad \text{of} \quad c_r(d + r_2) \quad (1)$$

Met c_r , de eenheidskost van het wegtransport over een lange afstand.

$$\text{Kost intermodaal transport} = r_1 c_p + c_f d + T_A + T_B \quad \text{of} \quad r_2 c_p + c_f d + T_A + T_B \quad (2)$$

Met c_p , de eenheidskost van het posttransport; c_f , de eenheidskost van het spoortransport; en T_i , de overslagkosten in terminal i .

Aangezien het bereik reikt tot waar de kosten van het wegtransport en de kosten van het intermodaal transport aan elkaar gelijk zijn, worden vergelijking (1) en (2) aan elkaar gelijkgesteld om een waarde voor r_1 en r_2 te vinden (Limbourg & Jourquin, 2010).

$$r_1 c_p + c_f d + T_A + T_B = c_r(d - r_1)$$

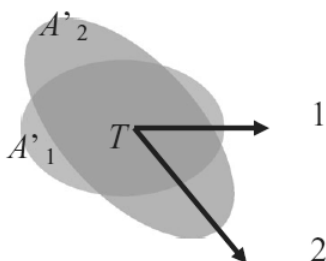
$$r_2 c_p + c_f d + T_A + T_B = c_r(d + r_2)$$

$$r_1 = \frac{c_r d - c_f d - T_A - T_B}{c_p + c_r}$$

$$r_2 = \frac{c_r d - c_f d - T_A - T_B}{c_p - c_r}$$

Wanneer er vanuit terminal A een verbinding is met meerdere terminals dan wordt vorige werkwijze herhaald voor iedere terminal. Onderstaande figuur is een voorbeeld van een terminal die een verbinding heeft met twee andere terminals. Het marktgebied kan dan in verschillende zones opgesplitst worden (Limbourg & Jourquin, 2010):

- De doorsnede van A'_1 en A'_2 : binnen deze zone is het intermodaal transport zowel in richting 1 als in richting 2 voordeliger dan wegtransport.
- Zone A'_1 zonder A'_2 : binnen deze zone is het intermodaal transport enkel voordeliger dan wegtransport voor richting 1.
- Zone A'_2 zonder A'_1 : binnen deze zone is het intermodaal transport enkel voordeliger dan wegtransport voor richting 2.
- Buiten deze drie zones: het wegtransport is voordeliger dan het intermodaal transport.



Figuur 4: Het marktgebied van een terminal met meerdere verbindingen (Bron: Limbourg & Jourquin, 2010).

3.3 Het potentiële volume van de terminal bepalen

Het is belangrijk om alvorens te beginnen met het ontwerpen van de lay-out van een terminal, eerst een grondige analyse te doen omtrent het potentiële volume dat men verwacht te kunnen verwerken in de terminal. Daarna kan men pas een correcte lay-out bepalen (Bottani & Rizzi, 2007).

Bottani & Rizzi (2007) stellen een model voor om het aangetrokken volume te voorspellen. Zij gebruiken een model op basis van kosten en gaan ervan uit dat de dienstenfactoren voor wegtransport en spoor-weg transport gelijkwaardig zijn. Dit model is gebaseerd op drie variabelen, namelijk de afstand (d , km) van het begin- tot eindpunt (volledig traject), de tijd (t , min) van het beginpunt tot een terminal en/of van een terminal tot het eindpunt (enkel traject van minderheidstransportmiddel) en de geschiktheid van de goederen (g) om getransporteerd te worden in containers. De variabelen geven de bereidheid weer om over te schakelen van wegtransport naar intermodaal transport. Deze bereidheid hangt sterk samen met de kostenstructuur. Aangezien intermodaal transport door hoge overslagkosten niet competitief is voor korte afstanden, zal de bereidheid om over te schakelen naar intermodaal transport voor deze korte afstanden niet bestaande zijn. De variabele voor afstand is bijgevolg ook de belangrijkste variabele. De variabelen van tijd en goederen worden vaak bepaald door experts. Een meer gedetailleerde bespreking van dit model is terug te vinden in *bijlage 1*.

3.4 Het design van de terminal bepalen

In dit deel worden parameters in verband met de lay-out van een terminal besproken. Nadat de locatie van de terminal vastligt en het marktgebied en het potentiële volume bepaald zijn, kan er begonnen worden met het ontwerpen van de lay-out. Er worden twee lay-outparameters besproken, namelijk de functie en lengte van de laadsporen en de plaatsing van de toegang van de terminal.

3.4.1 Het bepalen van de functie en lengte van de sporen

Er zijn twee verschillende soorten sporen in een terminal, namelijk de overlaadsporen en de wachtsporen. Op de overlaadsporen worden de treinen bediend door de

overlaaduitrustingen. Op de wachtsporen kunnen de treinen gestationeerd worden wanneer er geen overlaadspoor vrij is om bediend te worden. Treinen die zowel gelost als geladen moeten worden, kunnen hier ook tussendoor gestationeerd worden wanneer andere treinen prioriteit hebben (Ballis & Golias, 2002).

De lengte van de ladingssporen is afhankelijk van drie factoren, (1) de lengte van de treinen, (2) de beschikbaarheid van grond en (3) kostenbeperkingen. De langste treinen in Europa hebben ongeveer een lengte van 600-750m. Als men deze grote treinen wil bedienen, moet men er dus voor zorgen dat de ladingssporen minstens iets langer zijn dan de lengte van deze treinen (Ballis & Golias, 2002).

3.4.2 Toegang tot de terminal

De terminal kan best bereikbaar zijn langs beide zijden, zodat treinen van beide richtingen de terminal kunnen binnenkomen of buitengaan. De meeste huidige terminals hebben echter nog doodlopende sporen. De sporen in een terminal kunnen meestal niet geëlektrificeerd worden omdat het niet mogelijk is om een bovenleiding te plaatsen omwille van de kranen en reachstackers die zich in de terminal bevinden. Er zijn twee mogelijkheden om toch elektrische treinen in de terminal te kunnen bedienen. Een eerste oplossing is het installeren van een kettinglijn op de ladingssporen zodat de elektrische trein aan de ingang van de terminal naar binnengetrokken kan worden. Een andere mogelijkheid is dat de elektrische trein de terminal binnengaat en stopt vlak voor de uitgang van de terminal. De ligging van de sporen is hierbij wel zeer belangrijk en het is noodzakelijk dat de terminal een in- en uitgang heeft (en dus geen doodlopende sporen) (Ballis & Golias, 2002).

3.5 Conclusie

Strategische planning bevat alle elementen die op lange termijn zullen vastliggen. De terminallocatie is een zeer belangrijke factor voor de efficiëntie van de terminal omdat de locatie alle andere beslissingen beïnvloedt. Als de locatie eenmaal gekozen is, dan ligt deze voor altijd vast. Het is dus zeer belangrijk om zoveel mogelijk elementen in rekening te brengen voor het bepalen van de locatie. Belangrijke elementen zijn de goederenstromen, de bestaande infrastructuur, alle kosten die ermee gepaard gaan, omgevingsfactoren (zoals milieu en maatschappij) en de kwaliteit van diensten die op

deze locatie geleverd kan worden. Tenslotte is het ook zeer belangrijk om de locatie op verschillende schalen te bekijken. Een optimale locatie op regionaal of nationaal vlak kan minder goed zijn op internationale schaal. Hierbij moeten de doelen van de terminal dus goed in het oog gehouden worden.

Wanneer een locatie voor de terminal gekozen is, kunnen het markt bereik en het potentiële volume van de terminal bepaald worden. Deze factoren bepalen de grootte en het design van de terminal, maar ze kunnen ook aangeven dat een bepaalde locatie toch geen potentieel heeft. Het is dus belangrijk om deze factoren te berekenen alvorens aan het ontwerp van de terminal te beginnen. Wanneer het markt bereik en het potentieel te verwerken volume slechts klein zijn, kan het zijn dat het niet meer de moeite is om door te gaan met de plannen.

Wanneer de locatie winstgevend blijkt en het verwachte markt bereik en volume groot genoeg zijn, kan men beginnen met het ontwerpen van de terminal. De infrastructuur van een terminal omvat vele elementen: de sporen, de toegang van de terminal en de opslagruimte zijn enkele voorbeelden. Wanneer men ook bijkomende diensten wil aanbieden, zoals onderhoud en reparatie, komt hier ook infrastructuur bij te kijken. Het aantal laadsporen is sterk afhankelijk van het aantal te verwerken containers, maar deze factor is wel nog te compenseren met het aantal overlaaduitrustingen.

4. Tactische planning

Op tactisch niveau neemt een terminaloperator beslissingen op middellange termijn. Een belangrijke beslissing is de capaciteit van uitrustingen (Caris et al., 2008). Dit onderwerp wordt als eerste besproken in dit hoofdstuk. Op tactisch niveau worden er ook beslissingen genomen over het beleid van de processen in een terminal. Hieromtrent worden in dit hoofdstuk trein-treinoverslag, de overlaadfasen en de stapelhoogte van containers besproken. Tabel 3 geeft een overzicht van deze onderwerpen en de besproken literatuur.

Tabel 3: Literatuuroverzicht tactische planning.

TACTISCHE PLANNING		
Definitie:	Beslissingen om resultaten op middellange termijn te bereiken	
Besproken topics:	Aantal en type van overlaaduitrustingen	<ul style="list-style-type: none">• Ballis & Golias, 2002• Kozan, 2006• Vis, 2006
	Overlaadmethodes voor brugkranen	<ul style="list-style-type: none">• Marín-Martínez et al., 2004
	Overlaadverrichtingen	<ul style="list-style-type: none">• Ballis & Golias, 2002
	Het stapelen van containers	<ul style="list-style-type: none">• Ballis & Golias, 2002

4.1 Aantal en type van overlaaduitrustingen

Ballis & Golias (2002) bevroegen enkele experts binnen Europa over het gebruik van overlaaduitrustingen. Hieruit bleek dat er vooral gebruik wordt gemaakt van reachstackers en brugkranen voor het overladen van containers binnen een spoor-weg context. Reachstackers zijn mobiele kranen die containers kunnen opnemen, hanteren en transporteren. Zij bedienen zowel de treinen, de trucks en de opslagruimte. Reachstackers hebben een lage investeringskost en zijn zeer flexibel, maar omdat ze containers niet dicht bij elkaar kunnen stapelen en ze veel ruimte nodig hebben om te manoeuvreren, worden ze vooral gebruikt in kleinere terminals. Elektrische brugkranen

worden het meest gebruikt in grote terminals. Deze kranen overspannen meerdere spoorlijnen, wegen (voor de trucks) en rijen containers in de opslagruimte.



Figuur 5: Rubber tyred gantry crane en rail mounted gantry crane (Bron: Wikipedia).

De uitrustingen voor het laden en ontladen van containers kunnen verdeeld worden in twee groepen, namelijk kranen (Figuur 5) en sideloaders (Figuur 6) (vorkheftrucks, reachstackers, straddle carriers). De meeste terminals maken gebruik van een combinatie van deze twee types van overlaaduitrustingen. De keuze van uitrusting is afhankelijk van verschillende factoren, onder andere van de operationele strategie, de lay-out van de sporen, het aantal parallelle sporen, de graad van standaardisatie van containers, enzovoort Vorkheftrucks kunnen slechts het spoor bedienen dat het dichtst bij de opslagruimte gelegen is. Reachstackers kunnen ook nog het tweede spoor bedienen. Brugkranen daarentegen kunnen veel meer sporen bedienen, maar deze zijn ook veel duurder in aankoop dan sideloaders (Kozan, 2006).



Figuur 6: Reachstacker en straddle carrier (Bron: Wikipedia).

Bovendien kan er ook een keuze gemaakt worden tussen bemande uitrustingen en geautomatiseerde uitrustingen. Vis (2006) analyseert het verschil in efficiëntie tussen een bemande straddle carrier en een geautomatiseerde kraan. Wat de kosten betreft, is een geautomatiseerde kraan een grote investering, maar de arbeidskosten ervan zijn wel laag. Bij een straddle carrier is dit omgekeerd, de arbeidskosten zijn groot ten opzichte van de totale kost. De keuze is bovendien ook afhankelijk van de lay-out van de ruimte waarin de apparaten moeten functioneren. Straddle carriers worden vaak gebruikt in terminals met een hogere throughput. Deze moeten echter iedere rij afzonderlijk afdraaien omdat ze niet over de rijen heen kunnen bewegen. Een groot voordeel van een geautomatiseerde kraan is dat deze ook 's nachts kan doorwerken om de containers te herstacken voor de volgende dag. Vis (2006) concludeert dat wanneer de operationele ruimte een breedte heeft van zes containers, de automatische kraan efficiënter is dan de straddle carrier. Wanneer de breedte vergroot wordt tot negen containers, zijn de prestaties van de automatische kraan en de straddle carrier gelijkwaardig. Door de hoge investeringskosten van een automatische kraan moet er dus een doordachte afweging gemaakt worden tussen de twee uitrustingen.

Volgens Ballis & Golias (2002) worden straddle carriers en sideloaders echter meer gebruikt in maritieme en binnenvaartterminals dan in spoorterminals. Ook combinaties van kranen, reachstackers, vorkheftrucks en multi-trailer transportmiddelen worden niet gezien als een typische configuratie voor de Europese spoorwegsector.

Uit de simulatie die werd uitgevoerd door Ballis & Golias (2002) blijkt dat een beperkt aantal snelle uitrustingen beter presteren dan veel, maar trage uitrustingen. Hierdoor wordt ook de loonkost verlaagd omdat er minder personeel nodig is. Er moet wel voor voldoende onderhoud gezorgd worden, want de uitval van een uitrusting kan een grote invloed hebben op de service prestaties.

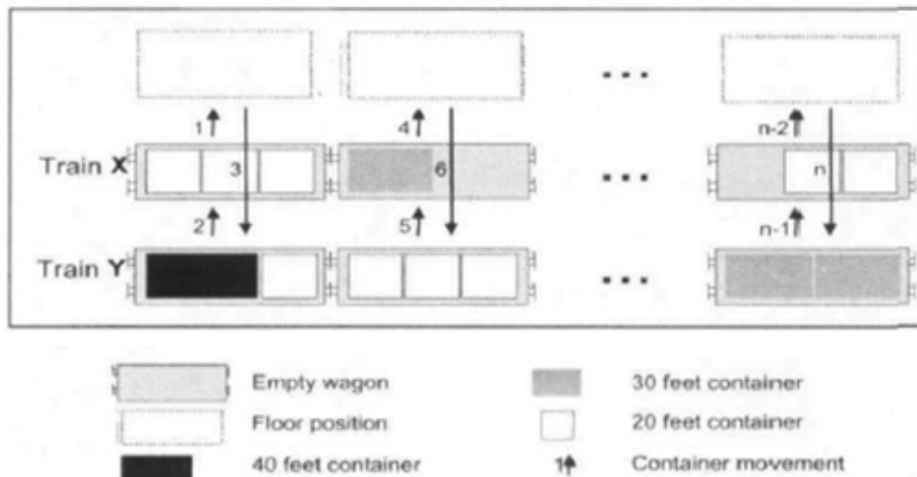
4.2 Verschillende overlaadmethodes voor brugkranen bij spoor-spoor transfers

Dikwijls moeten containers ook van de ene op de andere trein overgeladen worden. Een voorbeeld hiervan is aan de grens tussen Spanje en Frankrijk omdat de breedte van de sporen hier verschilt (1,674 m in Spanje, en 1,435 m in Frankrijk en de meeste andere landen in Europa). Een belangrijke factor hierin is de manier waarop brugkranen gebruikt

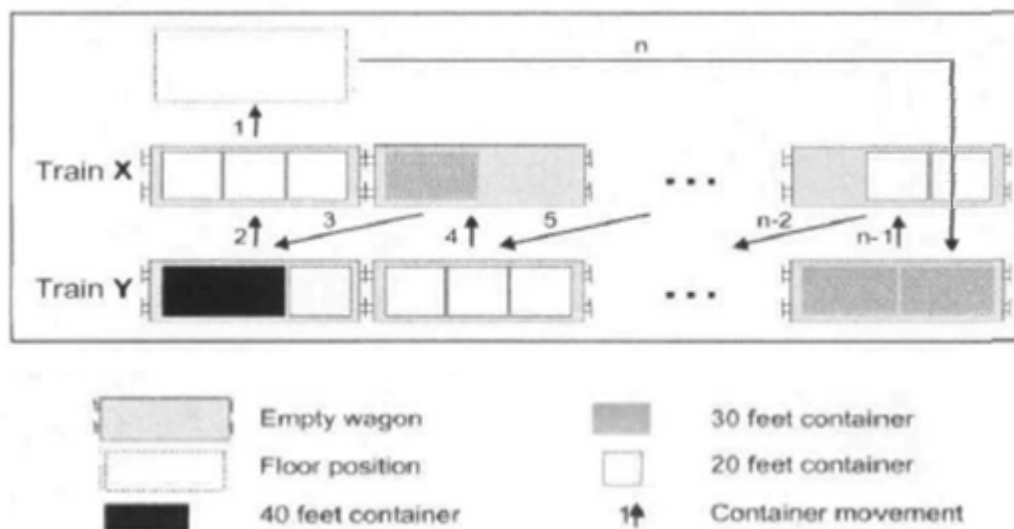
worden. Marín-Martínez et al. (2004) stellen vier verschillende methoden voor: (1) de parallelle werkingsmodus, (2) de zigzag werkingsmodus, (3) de parallelle (II) werkingsmodus en (4) de ontlaad werkingsmodus.

4.2.1 De parallelle werkingsmodus

Bij de parallelle werkingsmodus zal de brugkraan eerst de containers van de voorste wagon van trein X op de grond plaatsen, naast de trein (Figuur 7 (1)). Hierna verzet de brugkraan de containers van de voorste wagon van trein Y naar de zojuist vrij gemaakte wagon van trein X (Figuur 7 (2)). De containers die eerder van trein X op de grond werden gezet, worden dan verplaatst naar de lege wagon van trein Y (Figuur 7 (3)). Deze procedure wordt daarna herhaalt voor de overige wagons van trein X en trein Y. Uit een simulatie die Marín-Martínez et al. (2004) uitvoerden, blijkt dat deze methode het slechtste resultaat boekt wanneer men de totale doorlooptijd van de treinen tussen de verschillende methoden vergelijkt.



Figuur 7: Parallelle werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).



Figuur 8: De zigzag werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).

4.2.2 De zigzag werkingsmodus

Bij deze werkingsmanier van de brugkranen zullen eerst de containers van de voorste wagon van trein X op de grond gezet worden (Figuur 8 (1)) en daarna worden de containers van de voorste wagon van trein Y op de lege wagon van trein X geplaatst (Figuur 8 (2)). In de volgende stap worden de containers van de tweede wagon van trein X op de lege wagon van trein Y geplaatst (Figuur 8 (3)). Vervolgens worden de containers van de tweede wagon van trein Y op de lege, tweede wagon van trein X geplaatst (Figuur 8 (4)), enzovoort. Uiteindelijk zullen de containers die op de grond werden geplaatst, geladen worden op de laatste wagon van trein Y (Figuur 8 (n)). Voor deze methode heeft de brugkraan minder handelingen nodig, maar de laatste containers moeten wel over een langere afstand verplaatst worden. Uit de simulatie van Marín-Martínez et al. (2004) blijkt dat deze methode op een gedeeld tweede plaats beland voor de totale doorlooptijd van de treinen.

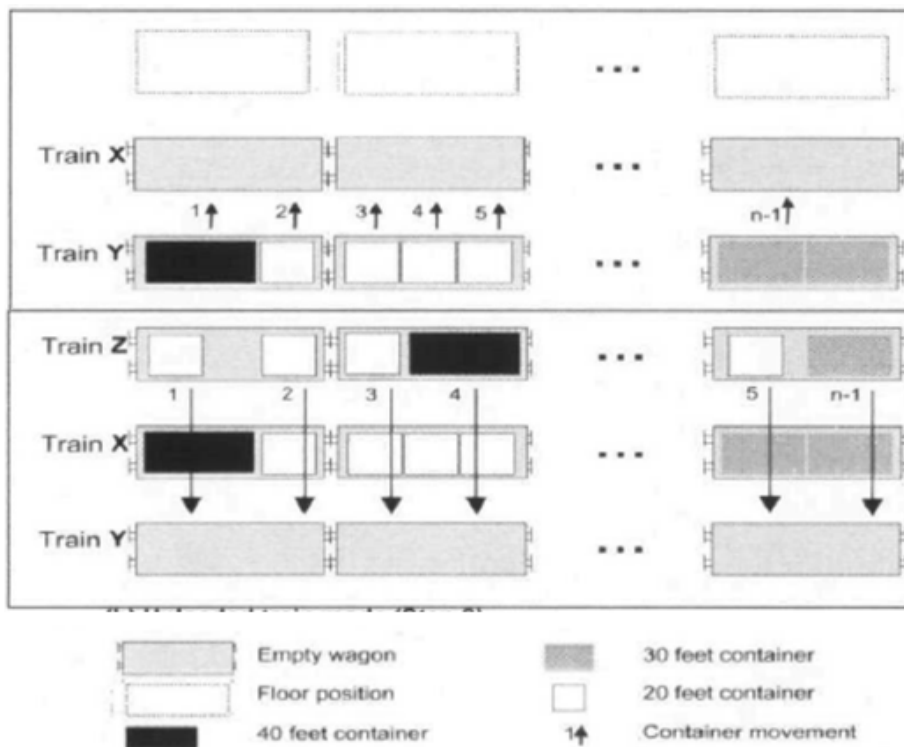
4.2.3 De parallelle (II) werkingsmodus

De parallelle (II) werkingsmodus is gelijkaardig aan de parallelle werkingsmodus, met als verschil dat de parallelle (II) werkingsmodus gebruik maakt van open plekken op de treinen. Ook bij deze methode wordt er gestart bij de voorste wagons. Wanneer er hier

een lege plek is, die groot genoeg is om een container van de overeenkomstige wagon van de ander trein op te plaatsen, wordt deze container rechtstreeks overgeladen. Is er niet voldoende plaats voor een container, dan worden de containers op de grond geplaatst en werkt men volgens de parallelle werkingsmodus. Op deze manier gaat men de volledige trein af. Uit de resultaten van de simulatie van Marín-Martínez et al. (2004) blijkt dat de parallelle (II) werkingsmodus op een gedeeld tweede plaats staat, samen met de zigzag werkingsmodus, wat betreft de totale doorlooptijd van de treinen.

4.2.4 De ontlaad werkingsmodus

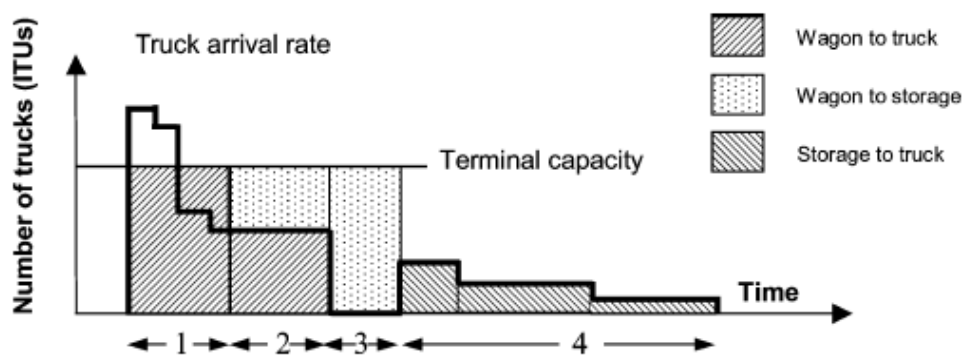
Voor de ontlaad werkingsmodus moet er steeds een lege trein aanwezig zijn in de transferzone. Wanneer er een trein Y arriveert die ontladen moet worden, wordt deze langs de lege trein X geplaatst en worden alle containers rechtstreeks overgeladen op de lege trein X. Trein X kan nu vertrekken, terwijl trein Y blijft wachten tot een volgende trein Z overgeladen moet worden. Deze methode komt als overwinnaar uit de simulaties van Marín-Martínez et al. (2004) voor de totale doorlooptijd. Het nadeel van deze methode is dat er altijd lege wagons ter beschikking moeten zijn om op over te laden en dat er voldoende ruimte nodig is in de transferzone om genoeg ladingssporen te hebben.



Figuur 9: De ontlaad werkingsmodus (Bron: Marín-Martínez et al., 2004).

4.3 De overlaadverrichtingen

De laad- en ontlaadverrichtingen kunnen opgesplitst worden in vier fasen: (1) overladen van de trein naar de trucks, (2) overladen van de trein naar de trucks én overladen van de trein naar de opslagruimte, (3) overladen van de trein naar de opslagruimte en (4) overladen van de opslagruimte naar de trucks. De eerste fase start wanneer de trein arriveert of bij het openen van de terminal (wanneer de trein reeds 's nachts arriveerde). Er zijn op dat moment meestal al veel trucks aanwezig in de terminal zodat deze eerst rechtstreeks bediend worden. Na een tijd gaat het aantal trucks in de terminal dalen en gaat er werkloze tijd ontstaan bij de overlaaduitrustingen. Om dit te vermijden gaan de overlaaduitrustingen op die momenten ingezet worden om containers van de trein naar de opslagruimte te brengen. Dit is de tweede fase. Meestal ontstaat er dan een periode waarin er geen trucks meer arriveren. Tijdens deze derde fase zullen de overlaaduitrustingen de rest van de containers van de trein afladen en deze opslaan in de opslagruimte. In de vierde en laatste fase worden de trucks bediend die arriveren nadat de trein vertrokken is. De trucks moeten de containers dus aan de opslagruimte gaan ophalen. In Figuur 10 is een grafische weergave te zien van deze vier fasen. Het algemene patroon geldt voor alle spoorterminals, maar de duur van iedere periode kan sterk verschillen (Ballis & Golias, 2002).



Figuur 10: Vier fasen bij het overladen (Bron: Ballis & Golias, 2002).

4.4 Het stapelen van containers

Door het stapelen van containers in de opslagruimte wordt de af te leggen afstand voor de overlaaduitrustingen verkleind. Maar het stapelen zorgt er ook voor dat er meer

verplaatsingen nodig zijn om aan de juiste container te raken. De gemiddelde stapelhoogte in spoorterminals ligt iets hoger dan 1. Dit wil zeggen dat de containers meestal per één op de grond geplaatst worden, en dat er af en toe een tweede bovenop geplaatst wordt. Uit de maritieme context blijkt dat een gemiddelde stapelhoogte van 1,5 perfect mogelijk is zonder in te boeten voor tijdverliezen door verplaatsingen. Het absolute maximum is een stapelhoogte van 3, maar dit vereist wel een informatiesysteem. Dit informatiesysteem is nodig omdat een brugkraan een hoogte heeft van 9,9 m. Dit is voldoende ruimte om twee containers op elkaar te stapelen en daarboven nog ruimte te hebben om er containers overheen te transporteren. Wanneer er echter drie containers op elkaar gestapeld worden, is er geen ruimte meer om er containers overheen te transporteren dus moet de brugkraan om de drie containers heen geleid worden (Ballis & Golias, 2002).

4.5 Conclusie

Tactische beslissingen zijn van lange termijn, maar kunnen wel vrij eenvoudig aangepast worden. Een eerste factor zijn de overlaaduitrustingen. Het aantal en de soorten uitrustingen zijn afhankelijk van de grootte van de terminal en van het aantal te verwerken containers. Grote terminals maken meestal gebruik van een combinatie van kranen en side-loaders, terwijl kleine terminals meestal enkel gebruik maken van side-loaders omdat kranen een grote investering zijn. Weinig snelle uitrustingen zijn efficiënter dan veel trage uitrustingen, maar het onderhoud van de uitrustingen is dan uiteraard zeer belangrijk. Wanneer één van de snelle uitrustingen uitvalt, maakt dit een groot verschil in efficiëntie.

Wanneer een terminal overslag van trein naar trein doet, heeft de manier van overslaan ook invloed op de doorlooptijd van de treinen. De snelste methode is de ontlad werkingsmodus, maar deze methode is niet altijd haalbaar omdat er steeds een lege trein klaar moet staan. De methoden die het best te implementeren zijn, zijn de parallelle, parallelle II en zigzag werkingsmodus. De parallelle werkingsmodus is echter af te raden omdat deze methode het meeste tijd in beslag neemt. De parallelle II en zigzag methoden zijn dus aan te raden omdat ze eenvoudig te implementeren zijn en een vrij goede doorlooptijd voor de treinen behalen.

De stapelhoogte in de opslagruimte heeft ook invloed op de efficiëntie van de terminal. Wanneer containers te hoog gestapeld worden, moeten de containers vaak opnieuw gestapeld worden om aan een bepaald container te raken. Dit neemt tijd in beslag zodat de doorlooptijd van de containers ook hoger zal zijn. Wanneer de containers slechts per één gestapeld worden, is er een grote opslagruimte nodig en moeten de uitrustingen langere afstanden afleggen. Dit betekent dat er meer grond nodig is voor de terminal en de kosten dus hoger zullen zijn. De optimale stapelhoogte ligt rond 1,5. Dit wil zeggen dat sommige containers per één op de grond geplaatst worden en dat andere containers per twee gestapeld worden.

In een terminal worden vier overlaadfasen waargenomen. Een fase waarin rechtstreeks van trein naar vrachtwagen wordt overgeladen, een fase waarin zowel rechtstreeks van trein naar vrachtwagen als van trein naar opslagruimte wordt overgeladen, een fase waarin van trein naar opslagruimte wordt overgeladen en een laatste fase waarin van opslagruimte naar vrachtwagen wordt overgeladen. Deze vier fasen worden in de meeste terminals waargenomen, maar de duur van de fasen verschilt van terminal tot terminal. De invloed van de duur van deze fasen op de doorlooptijd of andere efficiëntieparameters is onbekend.

5. Operationele planning

Operationele beslissingen worden genomen in verband met dagelijkse planningen en routines in de terminal en zijn dus korte termijn beslissingen. Deze beslissingen omvatten het dagelijks beleid van de terminal (Crainic et al., 1990). Dit omvat voornamelijk het plannen van de beschikbare uitrustingen (Caris et al., 2008). In dit hoofdstuk worden dan ook zowel de planning van de werkruimte van de brugkranen als de planning voor het overladen van containers van trein naar vrachtwagen (of omgekeerd) besproken. Deze topics en de gerelateerde literatuur zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Literatuuroverzicht operationele planning.

OPERATIONELE PLANNING		
Definitie:	Beslissingen om resultaten op korte termijn te bereiken	
Besproken topics:	De werkruimte van een kraan	<ul style="list-style-type: none">• Alicke, 2002• Alicke & Arnold, 1998• Boysen & Fliedner, 2010• Linn & Zhang, 2003
	Toewijzing van containers aan treinwagons	<ul style="list-style-type: none">• Bostel & Dejax, 1998• Corry & Kozan, 2006

5.1 Bepaling van werkruimte van een kraan

Kranen zijn de duurste uitrustingen in een terminal en zijn dikwijls een bottleneck in de verwerking van de containers. Daarom is de bepaling van de werkruimte van de brugkranen een belangrijke operationele parameter voor de efficiëntie van een intermodale terminal. Doordat de brugkranen elkaar niet kunnen passeren, kan er hinder ontstaan wanneer dit niet efficiënt gebeurt. In realiteit wordt de inzet van de kranen bepaald op basis van de ervaring van planners en kraanopzichters. Wanneer er echter zeer veel kranen werkzaam zijn in de terminal wordt het voor deze personen zeer moeilijk om beslissingen te maken op het moment zelf. Daarom wordt er dikwijls gebruik gemaakt van computergestuurde voorspellingsmodellen en informatiesystemen. Dit onderwerp wordt in de literatuur besproken door onder andere Alicke (2002), Alicke & Arnold (1998), Boysen & Fliedner (2010) en Linn & Zhang (2003).

De toewijzing van een werkruimte aan een kraan kan statisch of dynamisch gebeuren. Bij een statische toekenning heeft iedere kraan zijn eigen werkruimte en liggen de grenzen hiervan vast. Een gevolg hiervan is dat een kraan zijn werkruimte niet kan verlaten om een andere kraan te helpen bij het verplaatsen van containers. Het is bij deze methode dus cruciaal dat de werklust gelijk verdeeld wordt over het aantal brugkranen. Bij een dynamische toewijzing hebben de kranen geen vaste grenzen en worden ze gestuurd door een complex informatiesysteem dat rekening houdt met de positie van alle andere kranen zodat er geen hinder ontstaat. De kraanoperator kan via dit informatiesysteem op ieder moment de handelingen aanpassen aan de omstandigheden.

Zowel Aliche (2002) als Aliche & Arnold (1998) kiezen voor een dynamische methode voor het bepalen van de kraanwerkruimten. Om ervoor te zorgen dat kranen niet met elkaar in botsing komen, worden overlappende zones geblokkeerd. Wanneer deze overlappende zones klein zijn, wordt de volledige zone geblokkeerd vanaf het moment dat een kraan de zone betreedt. Wanneer deze zones echter groot zijn, gaat het blokkeren van de volledige zone veel werkloze tijd met zich meebrengen. In dit geval wordt er gebruik gemaakt van dynamisch blokkeren: afhankelijk van de positie van een kraan worden slechts enkele rijen geblokkeerd.

Boysen & Fliedner (2010) maken gebruik van de statische toewijzingsmethode. Voor iedere groep treinen, die plaatsnemen op de ladingssporen, worden de werkruimten van de kranen opnieuw bepaald. Om de oriëntatie te vergemakkelijken wordt de overslagplaats verdeeld in slots. Deze worden ook aangeduid en genummerd op de ladingstrook van de vrachtwagens. Er wordt dan ook verondersteld dat de treinen zo gestationeerd worden dat de wagons samenvallen met een slot. Om de werkruimten van de kranen te bepalen, worden de slots ($t = 1, \dots, T$) verdeeld over n kranen zodat de maximale werklust van de kranen geminimaliseerd wordt. Er wordt hier gebruikt gemaakt van een min-max doelstelling omdat alle kranen werkloos moeten wachten totdat de laatste kraan klaar is met het overladen van containers. De werklust w_t , veroorzaakt door de containers in slot t , wordt vooraf bepaald door het toekennen van een gewicht aan iedere container. Dit gewicht is in het eenvoudigste geval 1 zodat gewoon het aantal containers binnen een slot geteld wordt, maar kan ook de afstand die de kraan moet afleggen of de exacte verwerkingstijd voorstellen.

Boysen & Fliedner (2010) verkiezen de statische werkwijze omdat een dynamisch systeem een ingewikkelde online controle van de kranen vereist, dat continu ge-update moet worden om botsingen tussen kranen te vermijden. Vaste zones kunnen eenvoudig na iedere groep treinen veranderd worden en doorgegeven worden aan de kraanoperatoren.

5.2 Toewijzen van containers aan treinwagons (load plan)

Bostel & Dejax (1998) bespreken dit probleem voor een spoor-spoorterminal. De treinen arriveren in de terminal en worden gegroepeerd. Wanneer de huidige locatie van een container in dezelfde puls zit als de trein van zijn bestemming, kan deze container onmiddellijk overgeladen worden naar de corresponderende trein. Wanneer dit echter niet het geval is, moet de container opgeslagen worden tot de corresponderende trein zich op de laadsporen bevindt. Het probleem wordt in dit artikel opgesplitst in twee delen, namelijk de bepaling van de laad- en herlaadplaatsen op de verschillende treinen en het regelen van de ladingsuitrustingen die ervoor zorgen dat de containers overgeladen worden. Dit laatste werd in het vorige deel reeds besproken. Dit deel beperkt zich dus tot het bepalen van de laad- en herlaadplaatsen.

Het doel van een load plan is het overladen van containers in zo weinig mogelijk handelingen, of zo weinig mogelijk tijd. Wanneer de container onmiddellijk van trein naar vrachtwagen (of omgekeerd) overgeladen kan worden, wordt het aantal handelingen geminimaliseerd. Met iedere bijkomende handeling gaat er extra tijd gepaard. Dit kan gebeuren doordat de wagon die is toegewezen aan de container nog niet ontladen is. De container zal dan tijdelijk op de grond, naast de wagon, geplaatst worden. Dit noemt men double handling. Het kan ook gebeuren dat de toegewezen wagon voor een container verandert door een wijziging in het load plan, de container moet dan verplaatst worden van de eerst toegewezen wagon naar de nieuwe toegewezen wagon. De containers kunnen best zo aan de wagons toegewezen worden zodat de verdeling van de massa van een trein overhelt naar voor toe. Er zal zo minder slijtage ontstaan aan de remsystemen van de trein. Dikwijls moeten er compromissen gemaakt worden tussen het verdelen van het gewicht en het vermijden van double handling van containers (Corry & Kozan, 2006).

5.3 Conclusie

Operationele beslissingen zijn van korte termijn en worden dagelijks genomen. Een beslissing die regelmatig aangepast wordt, is de werkruimte die aan een brugkraan wordt toegekend. Wanneer deze toewijzing statisch gebeurt, dit wil zeggen dat de grenzen van de werkruimten vastliggen, is het zeer belangrijk dat de werklast gelijk verdeeld wordt over de kranen. De werklast en toekenning van de werkruimte wordt bij deze methode voor iedere groep treinen opnieuw gemaakt. De toewijzing kan ook dynamisch gebeuren, dit wil zeggen dat de grenzen van de werkruimten flexibel zijn. Voor deze methode is een computergestuurd informatiesysteem nodig om ervoor te zorgen dat er geen botsingen gebeuren tussen kranen. Dit gebeurt door zones of rijen waarin zich kranen bevinden, te blokkeren voor andere kranen. De dynamische methode is zowel voor de doorlooptijd van de containers als voor de benutting van de kranen het meest efficiënt. Maar doordat het opzetten van het systeem een zeer grote investering is, wordt in kleinere terminals vaker de statische methode toegepast.

Het laadplan voor de containers is ook een belangrijke factor voor de efficiëntie van een terminal. Wanneer containers rechtstreeks overgeladen kunnen worden, wordt de doorlooptijd geoptimaliseerd. Dit is echter niet altijd mogelijk zodat containers vaak tijdelijk in een opslagruimte geplaatst moeten worden (=double handling). Containers worden steeds overgeladen naar een lege plaats die zo dicht mogelijk bij de huidige plaats van de containers ligt om de af te leggen afstand voor de overlaaduitrustingen te minimaliseren. Men moet echter ook rekening houden met de verdeling van de massa over de trein. Om zo weinig mogelijk slijtage aan de trein te hebben, kan de massa best licht naar voor overhellen.

6. De Mainhub in Antwerpen

De Mainhub in Antwerpen is de grootste spoorwegterminal van België. Het is één van de terminals die door IFB wordt beheerd. De terminal is uitgerust met acht laadsporen, drie brugkranen, negen straddle carriers en drie opslagzones (A, B en C). Twee van de drie kranen zijn steeds actief en op drukke momenten zijn alle brugkranen operationeel. Van de negen straddle carriers zijn er gemiddeld slechts drie tot vier actief. In de terminal worden containers zowel van vrachtwagen naar trein (en omgekeerd) als van trein naar trein overgeladen. De overslag van vrachtwagen naar wagon gebeurt, wanneer mogelijk, rechtstreeks, maar in de overige situaties worden de containers steeds tijdelijk opgeslagen in een van de drie zones. De Mainhub werkt met een computersysteem dat alle vrachtwagens, wagons en containers in de terminal weergeeft. Treinen en vrachtwagens worden op voorhand geboekt zodat ze bij het aanmelden in de terminal snel door het computersysteem herkend worden.



Figuur 11: Mainhub Antwerpen (Bron: Google Maps, 2011).

A, B, C: opslagzones

4: brugkraan

1: scanner

5: parkeerzone voor het ophalen van containers

2: gate

6: uitgang

3: laadsporen

Wanneer een vrachtwagen aankomt aan de terminal, gaat de chauffeur zich eerst aanmelden aan de loketten en eventueel ook bij de douane. De vrachtwagen wordt dan automatisch door het computersysteem weergegeven in een lijst met vrachtwagens die in de terminal aanwezig zijn zodat de operatoren kunnen bepalen op welke trein of in welke opslagzone de container geplaatst moet worden. Deze toewijzing wordt door het computersysteem ook automatisch doorgegeven naar de gate en de kraan- en straddle carrier operatoren. Wanneer de vrachtwagen een container komt afleveren moet deze doorheen een scanner alvorens de terminal te mogen betreden. Deze scan gebeurt om de schade aan de container vast te stellen bij het binnengaan van de terminal zodat onterechte schadeclaims vermeden worden. Bij het afleveren van een container wordt aan de gate gecontroleerd of de vrachtwagen de correcte container vervoert. De vrachtwagenchauffeur krijgt dan een ticket waarop vermeldt staat naar welke zone van de terminal hij zich moet begeven.

De terminal is opgesplitst in drie zones (A, B en C). In zone A bevinden zich de containers die de terminal per trein binnenkwamen en ook per trein zullen vertrekken. Ook vrachtwagens waarvan de container rechtstreeks op een wagon geladen zal worden, begeven zich naar zone A. De containers worden op de wagons geladen door een brugkraan. In zone B worden de containers tijdelijk op de grond geplaatst om daarna op een wagon geladen te worden (wanneer de container eerder door een vrachtwagen afgeleverd was) of om opgeslagen te worden in zone C (wanneer de container de terminal per trein binnenkwam en zal vertrekken per vrachtwagen). Containers die voor een langere tijd (dagen tot weken) moeten opgeslagen worden of die door vrachtwagens opgehaald worden, worden in zone C geplaatst. Containers die door een trein worden afgeleverd worden van zone B door straddle carriers naar zone C gebracht. Containers die door vrachtwagens worden afgezet alvorens de trein gearriveerd is, worden door een straddle carrier van de vrachtwagen gehaald en in zone C geplaatst. Vrachtwagens die containers komen ophalen, begeven zich ook naar zone C. Deze vrachtwagens zullen dan door een straddle carrier bediend worden. De containers worden steeds zo dicht mogelijk bij de wagon of vrachtwagen die de container aflevert op de grond geplaatst. Ook bij het overladen naar de wagon of vrachtwagen die de container ophaalt, wordt hiermee rekening gehouden. Dit is belangrijk om de af te leggen afstand voor de overlaaduitrustingen zo klein mogelijk te houden.

Tussen zone A en B liggen de acht laadsporen voor de treinen en dit geheel is overspannen door de drie brugkranen. Bij elektrische treinen wordt de locomotief van de wagons afgekoppeld en worden de wagons de terminal binnengesleept omdat het in de terminal niet mogelijk is om de sporen te voorzien van een pantograaf (= elektrische bovenleiding). Voordat de brugkraanoperatoren kunnen starten met het overladen van de containers, moet er eerst nagegaan worden of iedere wagon de juiste containers bevat. Dit gebeurt door een grondoperator. Door het wagonnummer in een handcomputer in te geven, krijgt de grondoperator informatie over de container die door deze wagon getransporteerd zou moeten zijn. Wanneer er een foute container op een wagon staat, geeft de grondoperator dit in op zijn handcomputer en wordt dit in het volledige computersysteem aangepast. Wanneer alle wagons gecontroleerd zijn, worden de containers toegevoegd aan de takenlijst van de kraanoperator. Vrachtwagens die containers afleveren die rechtstreeks op een wagon geladen kunnen worden, krijgen prioriteit. Deze taak zal dan bovenaan de takenlijst van de kraanoperator verschijnen.

Bij het verlaten van de terminal passeren de vrachtwagens nog een gate. Hier moet de vrachtwagenchauffeur zijn bezoekerscode ingeven. Hij moet hier ook akkoord gaan met het ontvangen van de container of schade aan de container melden. Daarna kan de vrachtwagen de terminal verlaten. IFB streeft er naar om de doorlooptijd van een vrachtwagen in de terminal te beperken tot 30 minuten. Dit streefdoel wordt meestal bereikt met een gemiddelde doorlooptijd van 27 minuten.

De IFB Mainhub terminal in Antwerpen wordt niet enkel gebruikt om containers van vrachtwagen naar trein en omgekeerd over te slaan. Dit gebeurt enkel overdag (van 6 h tot 20h45) tijdens de weekdays. 's Nachts wordt de terminal gebruikt om containers te herorganiseren op verschillende treinen. Dit betekent dat men de containers hergroepeert van de ene trein op de andere, naargelang de bestemming ervan. Dit gebeurt natuurlijk ook op de meest efficiënt mogelijke manier.

7. Voorbeelden van terminalsimulaties in de literatuur

7.1 Simulatie van Rizzoli, Fornara & Gambardella (2002)

Rizzoli et al. (2002) voerden een simulatie uit van operationele factoren, meer bepaald van het laden en ontladen van treinen, het opslaan van containers in de opslagruimte en van de aankomst- en vertrekpatronen van de containers per truck. Er wordt gebruik gemaakt van een discrete-event simulation omdat er een analyse gemaakt wordt van bewegingen op het niveau van één enkele container.

Deze simulatie werd uitgevoerd voor de Quadrante Europa intermodale terminal in Verona, Italië. De configuratie van de terminal, gebruikt voor de simulatie van scenario 0, zijn twee weg gates, vier bufferruimten met ieder twee brugkranen, en drie vorkheftrucks in de opslagruimte. De gemiddelde servicetijd van de weg gates werd vastgelegd op 6,5 minuten. Om ervoor te zorgen dat de wachtrijen aan de weg en spoor gates niet leeg zijn, start de simulatie één dag voor de starttijd die voorzien is door de gebruiker. In scenario 1 wordt de invloed van de servicetijd van de weg gates bekeken. De gemiddelde servicetijd laat men hier schommelen tussen 5 minuten en 8 minuten. In het tweede scenario worden de prestaties van de brugkranen met 30% verhoogd (met de gemiddelde servicetijd aan de weg gates uit scenario 0).

7.1.1 Aankomstpatroon van treinen

Een terminal is verbonden met verschillende andere terminals. Op basis van dit netwerk worden treinaankomsten en –vertrekken gegenereerd volgens een tijdstabel. Wanneer een trein van de ene terminal naar de andere vertrekt, wordt de tijd gesimuleerd hoelang de trein hierover doet. De tijd tussen de ene en de andere terminal is vast, maar er wordt nog een stochastisch gegenereerde vertraging bijgeteld die onverwachte gebeurtenissen omvat. De simulatie van deze tijden gebeurt door middel van een priority ranked queue waarbij de volgorde bepaald wordt door de aankomst- en vertrekevents. Deze tijden worden opgeslagen in de Future Events List. Op het moment dat de event tijd gekomen is, zal de trein in de terminal arriveren.

7.1.2 Aankomstpatroon van trucks

De trucks komen aan in de terminal om containers af te leveren of op te halen. Hierin is een patroon waar te nemen: wanneer de trucks containers afleveren, arriveren ze voordat de trein vertrekt, en wanneer de trucks containers ophalen, arriveren ze nadat de trein is aangekomen. In het simulatieprogramma kunnen de aankomsten van trucks ofwel manueel ingegeven worden, ofwel automatisch gegenereerd worden aan de hand van statistische distributies. Om de juiste statistische distributie te bepalen, moeten geobserveerde waarden vergeleken worden met de verschillende distributies. Rizzoli et al. (2002) deden dit voor de Quadrante Europa intermodale terminal in Verona, Italië. Deze geobserveerde data sloten het best aan met een exponentiële verdeling. Deze verdeling werd ingevoerd in een simulatiealgoritme zodat er ook rekening gehouden kon worden met de sluitperiode van de weg gate. Voor iedere container die opgehaald of afgeleverd moet worden, zal het simulatieprogramma een aankomst van een truck genereren op basis van dit algoritme.

7.1.3 Container wordt afgeleverd door een truck en opgehaald door een trein

Trucks met een container die arriveren aan de weg gate worden in een First In First Out wachtrij geplaatst. De servicetijd van de weg gate wordt door de gebruiker van de simulatie bepaald. Wanneer de truck de weg gate passeert, kan er zich één van drie gebeurtenissen voordoen.

Wanneer de truck veel vroeger arriveert dan de deadline wordt deze naar de wachtrij in de bufferruimte verwezen. Hier wacht de truck tot de container op de trein geladen kan worden. Wanneer de bufferruimte vol is, wordt de truck doorverwezen naar de opslagruimte. De container zal dan voorlopig opgeslagen worden totdat deze op de trein geladen kan worden.

Wanneer de truck slechts vlak voor de deadline arriveert, moet deze naar de bufferruimte gaan. De truck krijgt hier voorrang op andere trucks zodat de container zeker nog voor de deadline geladen wordt.

Wanneer de truck na de deadline arriveert, en de trein reeds vertrokken is, wordt deze naar de opslagruimte gestuurd. De container zal dan opgeslagen en toegevoegd worden

aan een late-arrivals lijst. Deze containers zullen moeten blijven staan totdat ze met een andere trein meekunnen.

7.1.4 Container wordt afgeleverd door een trein en opgehaald door een truck

Een trein die arriveert aan de terminal wacht in de shunting ruimte tot de spoor gate beschikbaar is. Bovendien moet ook nagegaan worden of er een laadspoor beschikbaar is voor de trein. Wanneer dit het geval is, mag de trein de terminal binnengaan en plaatsnemen om ontladen te worden. Ondertussen komen ook de trucks aan bij de weg gate. Als de container reeds opgeslagen is in de opslagruimte, moet de truck hierheen. Is de container reeds afgeladen van de trein en opgeslagen in de bufferruimte, dan moet de truck daarheen. Wanneer de container nog niet van de trein geladen is, wordt de truck eveneens naar de bufferruimte verwezen. Deze trucks hebben ook voorrang zodat de containers in één beweging overgeladen kunnen worden. Wanneer de truck voor de trein arriveert, wordt deze ook verwezen naar de bufferruimte zolang hier voldoende ruimte is.

7.1.5 Het laden en ontladen van de trein

Wanneer containers op de trein geladen moeten worden, zijn er twee handelingen die een brugkraan kan uitvoeren: (1) een container ontladen van een truck in de bufferruimte en (2) de container laden op de trein ofwel rechtstreeks van een truck ofwel vanuit de bufferruimte of opslagruimte. Eerst worden de containers van wachtende trucks rechtstreeks op de trein geladen. Daarna worden containers van de bufferruimte of opslagruimte op de trein geladen. Trucks die in tussentijd arriveren, krijgen prioriteit en de containers worden ook rechtstreeks op de trein geladen.

Wanneer containers van de trein afgeladen moeten worden, zijn er ook twee handelingen mogelijk voor een brugkraan: (1) een container ontladen van een trein ofwel rechtstreeks naar een truck ofwel naar de bufferruimte en (2) een container op een truck laden vanuit de bufferruimte of opslagruimte. Containers worden eerst rechtstreeks van de trein naar de trucks overgeladen. Daarna worden de containers afgeladen in de bufferruimte. Trucks die nog arriveren, krijgen de hoogste prioriteit. Als trucks niet arriveren voordat de trein terug vertrekt, worden de containers in de bufferruimte overgeplaatst naar de opslagruimte door een vorkheftruck.

Het aantal brugkranen en vorkheftrucks dat actief is gedurende een bepaalde shift worden door de gebruiker van het simulatieprogramma bepaald in de resource allocation tabel. Om operationeel te blijven, moeten er steeds minstens één brugkraan in de bufferruimte en minstens één vorkheftruck in de opslagruimte actief zijn. Rizzoli et al. (2002) modelleerden de servicetijden van de brugkranen volgens de Gauss distributie.

7.1.6 Resultaten van de simulatie

In het oorspronkelijke scenario 0 is de gemiddelde wachttijd aan de weg gates 18,06 minuten. De gemiddelde tijd gedurende de containers zich in de terminal bevinden is 489 minuten.

In scenario 1 variëren de gemiddelde service tijden van de road gates tussen 5 en 8 minuten. Het effect op de gemiddelde wachttijd is significant, zoals te zien is in Tabel 5. Het is dus belangrijk om dit proces goed te monitoren zodat de wachttijden niet de hoogte inschieten. Dit geldt ook voor het oorspronkelijke scenario aangezien er in de simulatie slechts met gemiddelde waarden gewerkt wordt.

Tabel 5: Service tijden en wachttijden aan de road gates (Bron: Rizzoli et al., 2002).

<u>processing time (min)</u>	<u>waiting time (min)</u>
5.0	9.96
6	13.42
6.5 (alt 0)	18.06
7	29.14
8	62.42

Voor scenario 2 wordt gekeken naar de invloed van een verbetering van de prestaties van de brugkranen op de tijd die de containers doorbrengen in de terminal. Uit de simulatie van dit scenario blijkt dat deze tijd daalt naar 481 minuten, maar dat dit geen significante verbetering is.

7.2 Simulatie van Kozan (2006)

Kozan (2006) heeft een simulatie opgezet, met het softwarepakket Rockwell Arena, om de optimale capaciteit van uitrustingen voor een intermodale terminal op basis van een kostenanalyse te bepalen. Het doel van de simulatie is om een balans te vinden tussen de parameter lateness en de leasing en operationele kosten van de uitrustingen. De

verschillende scenario's worden gecreëerd door verschillende aantallen van overlaaduitrustingen (vorkheftrucks $\in [4,5,6,7,8]$, reachstackers $\in [5,6,7,8,9]$ en brugkranen $\in [1,2]$) te combineren.

7.2.1 Aankomstpatroon van trucks en treinen

Trucks die containers afleveren, kunnen arriveren vanaf vijf dagen voor de cutoff time (= twee uur voordat de trein vertrekt). Trucks die containers komen ophalen, kunnen dit doen tot twee dagen nadat de trein is gearriveerd, tussen 6 h en 21 h. De helft van deze trucks arriveert op hetzelfde moment als de trein arriveert.

Per dag staan er vijf treinen gepland in de tijdstabel (Tabel 6), maar gewoonlijk arriveren de treinen met een vertraging. Deze vertraging wordt gesimuleerd door middel van een triangulaire distributie. Een trein heeft bovendien nog 15 minuten nodig om de laadzone te betreden (en te verlaten). De laadzone heeft vier sporen. Wanneer het gewenste spoor niet vrij is, wordt de trein op een ander spoor geplaatst, tenzij er op het gewenste spoor nog slechts vijf of minder containers overgeladen moeten worden alvorens dit spoor beschikbaar wordt. De trein zal dan op zijsporen geplaatst worden om te wachten totdat het spoor vrijkomt. Wanneer alle sporen in de laadzone volzet zijn, zullen arriverende treinen eveneens op deze zijsporen geplaatst worden.

Tabel 6: Tijdstabel van treinen (Bron: Kozan, 2006).

Arrivals	6:00 a.m.	7:00 a.m.	7:50 a.m.	8:35 a.m.	1:00 p.m.
Departure	10:00 a.m.	11:00 a.m.	1:00 p.m.	3:30 p.m.	4:30 p.m.

7.2.2 Het laden en ontladen door de overlaaduitrustingen

Een vorkheftruck kan enkel het eerste spoor bedienen. Wanneer de container in de opslagruimte als tweede of derde van een stapel moet geplaatst worden, kan dit echter alleen gedaan worden door een reachstacker dus zal de reachstacker de container ook van de wagon halen. Het tweede spoor kan zowel door reachstackers als door een brugkraan bediend worden. Wanneer een container als eerste van een stapel geplaatst moet worden in de opslagruimte, kan de container van de wagon gehaald worden door een reachstacker en rechtstreeks naar de opslagruimte gebracht worden. De container kan ook door een brugkraan van de wagon gehaald worden en neergezet worden in de

bufferzone om door een vorkheftruck of een reachstacker naar de opslagruimte gebracht te worden. Wanneer deze container als tweede of derde van een stapel opgeslagen moet worden, zal de wagon bediend worden door een reachstacker omdat het opslaan in de opslagruimte sowieso door een reachstacker moet gebeuren. Een container die zich op de derde of vierde trein bevindt, kan alleen afgeladen worden door de brugkraan. Daarna kan deze container ofwel door een vorkheftruck ofwel door een reachstacker naar de opslagruimte gebracht worden. De gemiddelde laad/ontlaadtijden van vorkheftrucks, reachstackers en brugkranen zijn respectievelijk 2, 2,5 en 3 minuten.

7.2.3 Resultaten van de simulatie

Door de operationele kosten en de kosten ten gevolge van lateness bij elkaar op te tellen, werd een nieuwe parameter, de totale kost [TC], gecreëerd. Om de optimale balans te vinden tussen de operationele kosten en de kosten van lateness moet de totale kost geminimaliseerd worden. De totale kost voor ieder scenario wordt weergegeven in Tabel 7. Hierin is te zien dat de minimale TC bereikt wordt voor 8 vorkheftrucks, 5 reachstackers en 1 brugkraan.

Tabel 7: De totale kost van de verschillende scenario's (Bron: Kozan, 2006).

Number of forklifts (<i>f</i>)	Number of gantry cranes (<i>g</i> =1) Number of reachstackers (<i>r</i>)					Number of gantry cranes (<i>g</i> =2) Number of reachstackers (<i>r</i>)				
	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
4	40.4	33.9	31.1	30.7	32.3	32.6	30.3	30.3	30.5	32.6
5	32.0	32.9	34.3	32.4	31.7	29.4	31.1	32.2	30.9	32.1
6	32.4	32.1	31.1	31.1	33.0	30.5	31.0	30.6	31.4	33.2
7	32.3	31.9	30.3	32.4	33.0	30.0	30.6	31.1	32.3	34.2
8	28.7	31.4	30.9	34.1	–	28.8	29.4	33.2	34.6	–

De conclusie van deze simulatie is dat men beter minder geld kan spenderen aan reachstackers en brugkranen, maar meer aan vorkheftrucks. Uit verdere replicaties van de simulatie concludeert Kozan (2006) dat het voordeliger is om meer reachstackers en brugkranen te hebben wanneer de containers afgeleverd worden door een trein en opgehaald worden door een truck. In het omgekeerde geval, containers worden afgeleverd door de trucks en opgehaald door een trein, zijn vorkheftrucks efficiënter.

8. Simulatie van een spoorterminal

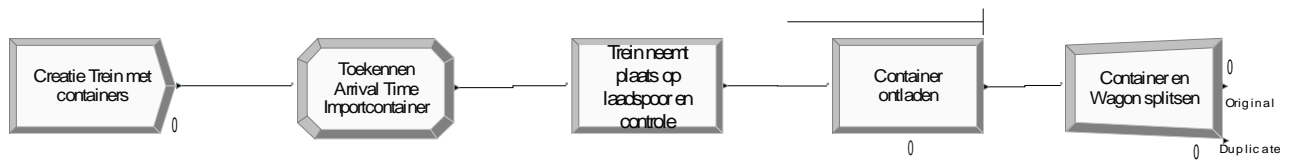
In dit hoofdstuk zal het praktijkgedeelte van deze masterproef besproken worden. Dit praktijkgedeelte omvat de simulatie van een spoorterminal met het softwareprogramma 'Rockwell Arena 11.0'. De gesimuleerde spoorterminal is een fictief voorbeeld gebaseerd op gegevens uit de literatuur en op de Mainhub in Antwerpen. Aan de hand van deze simulatie zal nagegaan worden hoe efficiënt de spoorterminal is voor verschillende scenario's. Deze scenario's worden geanalyseerd door middel van een volledig factorieel ontwerp. De efficiëntie wordt bepaald aan de hand van verschillende outputfactoren.

8.1 Omschrijving van de simulatie

Het simulatiemodel werd gebouwd in het softwareprogramma 'Rockwell Arena 11.0'. Het is de voorstelling van een fictieve spoorterminal, gebaseerd op gegevens uit de literatuur en de Mainhub in Antwerpen. In het model worden de containers zowel van trein naar vrachtwagen als van vrachtwagen naar trein overgeladen. Men spreekt dan respectievelijk van import- en exportcontainers (Kozan, 2006). De simulatie omvat een dag van 24 uur en hiervan worden 10 replicaties gesimuleerd.

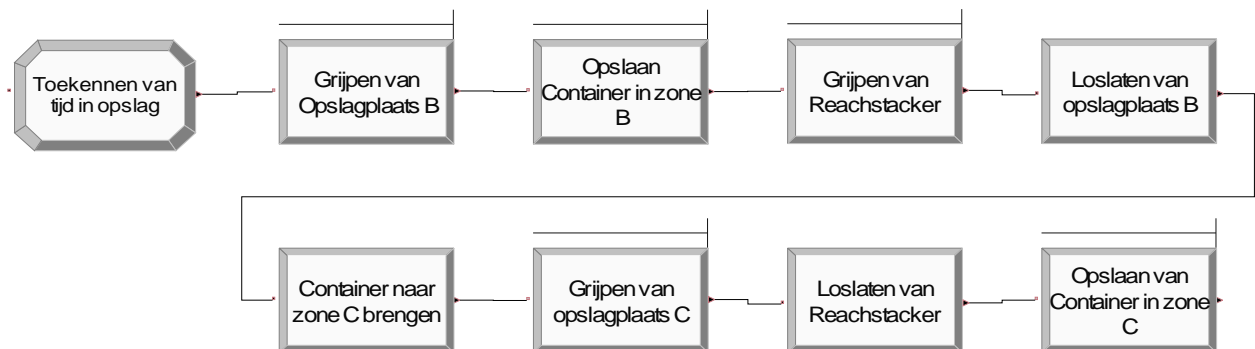
De simulatie bestaat uit drie entiteitstromen. De eerste is die van de containers. Deze worden per groep gecreëerd op basis van een tijdstabel om het arriveren van een trein na te bootsen. Nadat de containers van de wagon geladen zijn, ontstaat een tweede entiteitstroom, namelijk die van de wagons. Deze lege wagons zullen opnieuw geladen worden met een exportcontainer alvorens de terminal te verlaten. De derde stroom bestaat uit vrachtwagens. Het gaat hier zowel om vrachtwagens die een container komen afhalen (= importcontainer, 2/3) als om vrachtwagens die een container komen afleveren (= exportcontainer, 1/3). Deze worden ook op basis van een tijdstabel gecreëerd.

De importcontainers krijgen bij het arriveren in de terminal een 'Container arrival time' toegekend. Op basis van deze tijd kan achteraf de doorlooptijd van de container bepaald worden. Daarna neemt de trein plaats op een laadspoor voor een controle. Dit neemt gemiddeld vijftwintig minuten in beslag, met een standaardafwijking van vijf minuten. Dan kunnen de containers van de trein afgeladen worden. Vanaf dit punt worden de entiteiten container en wagon gesplitst (Figuur 12).



Figuur 12: Simulatiemodel, deel 1.

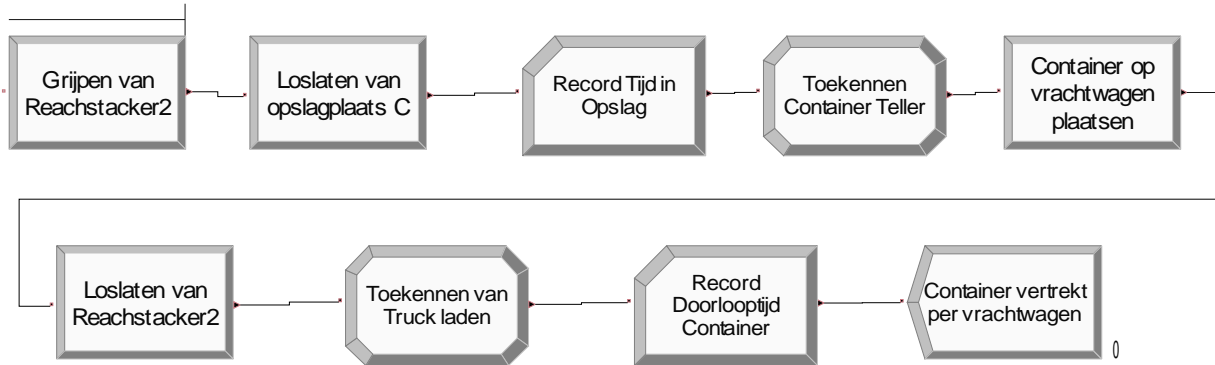
De containers die door een brugkraan van de trein afgeladen worden, worden eerst opgeslagen in een zone B. Deze opslagzone bevindt zich naast de laadsporen. Voordat er een opslagplaats toegewezen wordt aan een container, wordt eerst de starttijd in opslag als attribuut aan de container toegekend zodat ook de tijd in opslag achteraf bepaald kan worden. De container wordt slechts tijdelijk in zone B opgeslagen. Van het moment dat een reachstacker beschikbaar is, zal de container door deze reachstacker verplaatst worden naar de opslagzone C. De duur van het verplaatsen van de container wordt bepaald door een exponentiële distributie met parameter 3. De container zal in zone C opgeslagen worden totdat de vrachtwagen arriveert om de container af te halen (Figuur 13).



Figuur 13: Simulatiemodel, deel 2.

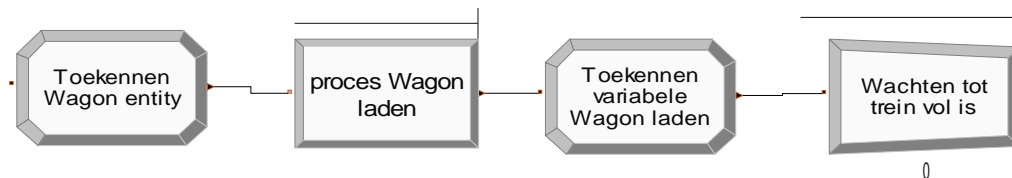
Wanneer een vrachtwagen in de terminal arriveert om een container op te halen, wordt er een reachstacker gestuurd om deze container op te pikken. De opslagplaats wordt losgelaten en het tijdsinterval tussen dit moment en de starttijd van opslag wordt bepaald. Daarna wordt de variabele 'Container Teller' met één vermeerderd. Deze teller wordt gebruikt om ervoor te zorgen dat er enkel containers uit de opslagzone vrijgegeven worden wanneer er meer vrachtwagens gearriveerd zijn dan er vrachtwagens met een container vertrokken zijn. De container wordt dan op de vrachtwagen geplaatst door de reachstacker. Hierna wordt de variabele 'Truck laden' gelijkgesteld aan één. Dit wil zeggen dat de vrachtwagen geladen is en de terminal kan

verlaten. Tenslotte wordt nog de doorlooptijd van de importcontainer bepaald door het interval tussen dit moment en de 'Container arrival time' alvorens de container het systeem verlaat (Figuur 14).



Figuur 14: Simulatiemodel, deel 3.

Bij het ontladen van de container worden de container en de wagon gesplitst. Het gecreëerde duplicaat van de container krijgt vanaf dat moment het entiteitstype 'Wagon' en de 'Wagon teller' wordt met één vermeerderd. De lege wagon wacht dan totdat een exportcontainer kan geladen worden. Dit gebeurt aan de hand van de variabele 'Wagon laden'. Wanneer deze variabele de waarde één heeft, is de wagon geladen en kan deze verdergaan in het systeem. De variabele 'Wagon laden' wordt dan opnieuw gelijkgesteld aan nul totdat een volgende wagon geladen is. De wagon zal op het laadspoor moeten wachten totdat de trein geladen is met veertig containers (Figuur 15).



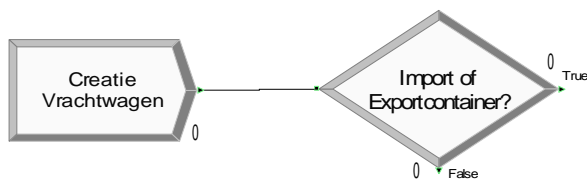
Figuur 15: Simulatiemodel, deel 4.

Wanneer een trein geladen is met veertig containers zal deze de laadsporen gaan verlaten. De variabele 'Trein teller' wordt met één vermeerderd zodat de wagons en containers in het simulatiemodel op hetzelfde moment vertrekken. Alvorens de terminal te verlaten, moeten de wagons en containers hierop nog gecontroleerd worden. Deze controle en het verlaten van de laadsporen duurt vijftig minuten (Figuur 16).



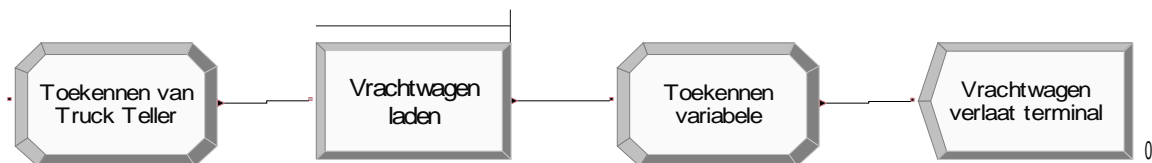
Figuur 16: Simulatiemodel, deel 5.

De entiteitstroom van de vrachtwagens is korter dan die van de containers omdat de overslag hoofdzakelijk de bewegingen van de containers volgt. Wanneer de vrachtwagen in de terminal arriveert, wordt eerst een onderscheid gemaakt tussen vrachtwagens die een container afhalen (=import) en vrachtwagens die een container afleveren (=export) (Figuur 17).



Figuur 17: Simulatiemodel, deel 6.

Wanneer de vrachtwagen een container komt ophalen, wordt eerst de variabele 'Truck teller' met één vermeerderd om het aantal vrachtwagens te tellen die in de terminal arriveerden. Daarna wacht de vrachtwagen totdat er een container geladen is. Dit gebeurt aan de hand van de variabele 'Truck laden'. Wanneer deze variabele de waarde één heeft, is de vrachtwagen geladen en kan deze verdergaan in het systeem. Daarna wordt deze variabele terug gelijkgesteld aan nul totdat een volgende vrachtwagen geladen is. De geladen vrachtwagen kan nu de terminal verlaten (Figuur 18).



Figuur 18: Simulatiemodel, deel 7.

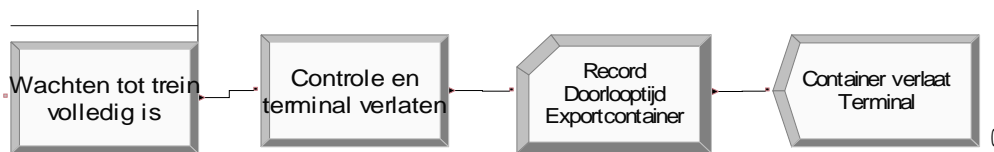
Vrachtwagens die een container komen afleveren worden omgezet naar het entiteitstype container en krijgen een 'Container arrival time' toegekend. De vrachtwagen met container wacht naast de laadsporen totdat een lege wagon beschikbaar is. Anders gezegd, de vrachtwagen met container wacht totdat de teller 'Wagon teller' groter is dan 'Container teller 2'. Wanneer een lege wagon klaarstaat, wordt de container door een

brugkraan op de wagon geladen en wordt 'Container teller 2' met één vermeerderd. Daarna wordt de variabele 'Wagon laden' gelijkgesteld aan één zodat ook de entiteit wagon verder kan gaan in het systeem (Figuur 19).



Figuur 19: Simulatiemodel, deel 8.

De containers die op een wagon geladen zijn, wachten nu totdat de trein veertig geladen wagons heeft. Deze blok is gekoppeld aan de wagons die wachten totdat de trein geladen is. Daarna worden de containers gecontroleerd en kan de trein de terminal verlaten. Dit duurt ongeveer vijftwintig minuten. Alvorens de terminal te verlaten, wordt eerst de doorlooptijd van de exportcontainers bepaald door het interval tussen dit moment en de 'Container arrival time' (Figuur 20).



Figuur 20: Simulatiemodel, deel 9.

8.2 De keuze van de inputparameters

In dit gedeelte zullen de inputfactoren besproken worden. Voor elke parameter wordt de keuze van de hoge en lage waarde verklaard en wordt er uitgelegd hoe de parameters in de simulatie geïmplementeerd zullen worden. Als variabele parameters voor de simulatie werden de volgende factoren gekozen: het aantal te verwerken containers per dag, het aantal overlaaduitrustingen, zowel het aantal brugkranen als het aantal reachstackers, en het aankomstpatroon van de vrachtwagens.

8.2.1 Het aantal te verwerken containers

De simulatie zal voor deze factor op twee niveaus uitgevoerd worden: een gemiddeld aantal van 300 containers per dag en een gemiddeld aantal van 750 containers per dag. Deze getallen zijn gebaseerd op gegevens uit tabel 1 van Ballis & Golias (2004). Deze

zijn licht aangepast voor een makkelijke implementatie in het simulatiemodel. Verondersteld dat een trein gemiddeld 50 containers vervoert, komt dit neer op vier treinen en 100 exportcontainers per dag in het eerste scenario en tien treinen en 250 exportcontainers in een tweede scenario.

Dit wordt in de simulatie geïmplementeerd door middel van de tijdstabellen, 'Trein Schedule' en 'Vrachtwagen Schedule'. Voor het eerste scenario zullen in de tijdstabel 'Trein Schedule' vijf treinen gepland staan en voor het tweede scenario tien treinen. Per creatie zullen er meerdere containerentiteiten gecreëerd worden, dit gebeurt op basis van een random distributie. Voor de creatie van containers is er gekozen voor een normale distributie met gemiddelde 50 en een standaard afwijking van 10 (Kozan, 2006). De exportcontainers zullen per vrachtwagen arriveren volgens de tijdstabel 'Vrachtwagen Schedule'. In deze tijdstabel staan zowel vrachtwagens gepland die containers komen afleveren als vrachtwagens die containers komen ophalen. Deze worden daarna opgesplitst door middel van een 'Decide' blok.

8.2.2 Het aantal overlaaduitrustingen

Deze factor omvat zowel het aantal reachstackers als het aantal brugkranen dat actief is in de gesimuleerde spoorterminal. Er is voor deze twee overlaaduitrustingen gekozen omdat deze het vaakst gebruikt worden in een spoor-weg context (Ballis & Golias, 2002).

Het lage en hoge niveau voor het aantal brugkranen zijn één en twee brugkranen. Deze aantallen zijn gebaseerd op gegevens van Belgische terminals (IFB, z.d.). Hieruit blijkt dat de grootste terminals in België meestal gebruik maken van 2 tot 3 brugkranen terwijl kleinere terminals 0 tot 1 brugkraan bezitten. Het aantal brugkranen wordt in Arena ingevoerd als capaciteit van de resource 'Brugkraan'.

Het lage en hoge niveau voor het aantal reachstackers zijn twee en vier reachstackers. Uit Belgische gegevens blijkt dat er minder gebruik gemaakt wordt van reachstackers, maar vaak gebruik gemaakt wordt van straddle carriers, vooral in grote terminals in combinatie met brugkranen. Wanneer er gekeken wordt naar het gemiddeld aantal sideloaders (mobiele kranen in het algemeen) dan ligt dit gemiddelde wel rond drie (IFB, z.d.). Het aantal reachstackers wordt in Arena ingevoerd als capaciteit van de resource 'Reachstacker'.

De duur van het laden en ontladen van containers wordt gesimuleerd op basis van een exponentiële distributie (Kozan, 2006). Deze duur zal geïmplementeerd worden in Arena als de 'delay time' van de processen 'Container Ontladen' en 'Container op wagon laden' voor de brugkranen en als de 'delay time' van de Delay modules 'Container naar zone C brengen' en 'Container op vrachtwagen plaatsen' voor de reachstackers.

8.2.3 Het aankomstpatroon van de vrachtwagens

Deze factor wordt geïmplementeerd in de simulatie via de tijdstabel 'Vrachtwagen schedule'. In het eerste scenario van deze factor arriveren de vrachtwagens snel achter elkaar. Per trein zullen de vrachtwagens volgens dit schema arriveren: (40, -1), (20, 0), (10, 1), (0, 2) en (5, 3). Dit wil zeggen dat 40 vrachtwagens één uur voordat de trein aankomt, reeds aanwezig zijn in de terminal, 20 vrachtwagens komen aan in hetzelfde uur als de trein, enzovoort. In het tweede scenario zullen de vrachtwagens meer verspreid aankomen: (40, -1), (0, 0), (20, 1), (0, 2), (10, 3), (0, 4), (0, 5), (0, 6) en (5, 7). In dit schema worden de waarden uit scenario 1 steeds afgewisseld met een uur waarin er geen vrachtwagens arriveren waardoor een meer gespreide aankomstratio ontstaat.

8.3 De keuze van de outputfactoren

De outputvariabelen die geanalyseerd zullen worden, zijn de doorlooptijd van de containers, de benutting van de uitrustingen en de winst die verbonden is aan de inputfactoren. Het is immers belangrijk om zowel de efficiëntie van het systeem als de winstgevendheid ervan te bekijken.

8.3.1 De benutting van de overlaaduitrustingen

De benutting van de overlaaduitrustingen is een tweede belangrijke outputfactor. Wanneer enkel naar de doorlooptijd van de containers gekeken wordt, is het optimaal om zo veel mogelijk overlaaduitrustingen in de terminal te hebben. Het is echter niet realistisch dat overlaaduitrustingen slechts een fractie van de tijd benut worden. De kosten zouden dan hoog oplopen voor uitrustingen die slechts af en toe gebruikt worden. Wanneer enkel deze factor beschouwd wordt, kan deze dus ook best gemaximaliseerd

worden. Het optimale punt zal zich grafisch echter bevinden in het snijpunt met de weergave van de doorlooptijd van de containers.

8.3.2 De doorlooptijd van de containers

De eerste outputfactor is de doorlooptijd van de containers. Deze parameter wordt ook gebruikt in de simulatie van Rizzoli et al. (2002). In de simulatie wordt de doorlooptijd opgesplitst voor import- en exportcontainers. Deze factor geeft weer hoe lang de containers zich in de terminal bevinden. Het is een goede parameter om de efficiëntie van de terminal na te gaan: de doorlooptijd van de container is minimaal wanneer er voldoende overlaaduitrustingen zijn en de overslag rechtstreeks kan gebeuren, dus met andere woorden wanneer er een efficiënte organisatie van de terminal is.

8.3.3 Relevante kosten en opbrengsten bij overslag en opslag

Zoals in de vorige paragraaf reeds werd aangehaald, is het ook belangrijk om rekening te houden met kosten. Zowel de overslag en opslag van containers, als de aankoop en het onderhoud van de overlaaduitrustingen brengen kosten met zich mee. Het is dus noodzakelijk om steeds de opbrengsten en de toegevoegde efficiëntie op te wegen tegen de kosten. In onderstaande tabel worden de kosten weergegeven waarmee rekening werd gehouden in de analyse (Konings et al., 2006; Lam, 1998; Meyrick, 2006; Portek, 2010; Portstrategy, 2005; Young, 2000). Als opbrengst werd €50 per verwerkte container gerekend (IFB, 2009).

Tabel 8: Relevante kosten bij overslag en opslag.

Verwerkingskosten per container	Opslagkosten per container	Aankoop-prijs van een reachstacker	Aankoopprijs van een brugkraan	Onderhoudskosten van reachstacker per jaar	Onderhoudskosten van brugkraan per jaar
€ 30	€ 3,45/dag	€ 350.000	€ 1.250.000	€ 85.000	€ 250.000

8.4 Het factorieel ontwerp

Een factorieel ontwerp wordt dikwijls gebruikt voor het analyseren van een simulatie waarbij er effecten zijn van meerdere parameters. Dit ontwerp helpt bij het vinden van de parameter met het grootste effect op een bepaalde outputfactor of bij het bepalen van een combinatie van factoren om een optimale prestatie van het systeem te bekomen (Law, 2006). Voor iedere inputparameter werd het model gesimuleerd op twee niveaus dus er ontstaat een 2^4 factorieel ontwerp. Tabel 9 geeft een overzicht van de niveaus van deze inputfactoren. In dit deel zal er voor iedere outputfactor een factorieel ontwerp opgesteld worden en zullen de hoofd- en interactie-effecten van de inputfactoren besproken worden.

Tabel 9: De scenario's voor het simulatiemodel.

	Aantal Containers (1)	Aantal Reachstackers (2)	Aantal Brugkranen (3)	Aankomstratio vrachtwagens (4)
1	300	2	1	dicht op elkaar
2	300	2	1	gespreid
3	300	2	2	dicht op elkaar
4	300	2	2	gespreid
5	300	4	1	dicht op elkaar
6	300	4	1	gespreid
7	300	4	2	dicht op elkaar
8	300	4	2	gespreid
9	750	2	1	dicht op elkaar
10	750	2	1	gespreid
11	750	2	2	dicht op elkaar
12	750	2	2	gespreid
13	750	4	1	dicht op elkaar
14	750	4	1	gespreid
15	750	4	2	dicht op elkaar
16	750	4	2	gespreid

8.4.1 Berekening van de outputfactoren

De eerste outputfactor is de benutting van de overlaaduitrustingen. De benutting van de resources wordt automatisch door de software berekend en verschijnt tussen de output. Het is opmerkelijk dat de benutting amper meer dan 50% behaalt, zelfs voor veel containers is dit slechts af en toe het geval. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het fictieve karakter van het simulatiemodel en de korte doorlooptijd van de containers in het model. In de werkelijkheid worden containers bovendien op elkaar gestapeld in de opslagzones zodat de containers regelmatig opnieuw gestapeld moeten worden en de benutting van de uitrustingen hoger is. In Tabel 10 is de benutting van de reachstackers weergegeven.

Voor deze overlaaduitrustingen is er een groot verschil waar te nemen in de benutting wanneer weinig en veel containers (1) vergeleken worden. Daarnaast is er ook een duidelijk onderscheid tussen een klein en groot aantal actieve reachstackers (2).

Tabel 10: Factorieel ontwerp: benutting van de reachstackers.

					Benutting reachstackers									
	(1)	(2)	(3)	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	10,87%	21,65%	21,06%	17,14%	13,59%	8,29%	23,06%	18,45%	19,09%	19,79%
2	-1	-1	-1	1	18,34%	22,47%	20,17%	21,04%	20,18%	18,31%	21,60%	17,38%	11,05%	20,00%
3	-1	-1	1	-1	10,72%	20,48%	20,65%	19,22%	21,65%	18,27%	16,55%	22,33%	20,19%	17,50%
4	-1	-1	1	1	18,91%	20,60%	19,30%	17,68%	14,74%	18,79%	18,30%	20,06%	11,72%	18,84%
5	-1	1	-1	-1	10,39%	10,45%	10,97%	8,95%	7,84%	3,60%	10,18%	8,97%	7,94%	10,97%
6	-1	1	-1	1	10,59%	9,94%	10,38%	9,01%	10,90%	9,96%	9,42%	9,68%	6,33%	9,90%
7	-1	1	1	-1	9,45%	10,31%	11,25%	6,81%	11,31%	10,79%	8,45%	8,30%	6,43%	10,53%
8	-1	1	1	1	9,29%	9,74%	10,02%	9,87%	10,81%	8,83%	9,47%	10,25%	8,87%	11,20%
9	1	-1	-1	-1	52,29%	52,54%	50,83%	52,94%	52,16%	48,83%	51,26%	30,19%	31,50%	50,65%
10	1	-1	-1	1	31,18%	49,56%	42,58%	51,51%	36,14%	50,25%	49,91%	37,60%	51,38%	52,55%
11	1	-1	1	-1	54,78%	54,36%	43,62%	53,29%	53,84%	50,23%	49,47%	43,37%	53,68%	35,08%
12	1	-1	1	1	45,85%	37,48%	52,17%	39,37%	30,85%	36,27%	43,19%	49,76%	34,40%	55,09%
13	1	1	-1	-1	23,26%	25,73%	19,06%	28,12%	18,08%	22,52%	26,03%	26,66%	25,07%	23,28%
14	1	1	-1	1	23,41%	23,35%	25,63%	18,21%	11,90%	23,57%	26,27%	10,77%	23,90%	24,08%
15	1	1	1	-1	15,72%	20,99%	22,92%	24,66%	24,58%	24,58%	22,72%	23,13%	17,68%	24,20%
16	1	1	1	1	26,17%	23,26%	25,42%	20,14%	26,51%	22,28%	25,24%	24,47%	21,89%	18,44%

Ook voor de benutting van de brugkranen heeft een verschil in het aantal containers (1) een grote invloed. Uiteraard maakt het aantal brugkranen (3) ook een groot verschil in de benutting van de brugkranen.

Tabel 11: Factorieel ontwerp: benutting van de brugkranen

					Benutting brugkranen									
	(1)	(2)	(3)	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	13,57%	19,81%	23,41%	19,44%	17,40%	13,47%	19,87%	21,04%	22,62%	22,21%
2	-1	-1	-1	1	19,53%	20,47%	21,65%	20,01%	21,15%	18,77%	20,26%	21,68%	13,31%	19,32%
3	-1	-1	1	-1	7,01%	11,24%	11,68%	9,34%	9,41%	9,40%	10,89%	10,26%	9,16%	10,72%
4	-1	-1	1	1	9,01%	11,06%	10,42%	9,16%	7,96%	9,13%	10,09%	10,47%	9,04%	10,21%
5	-1	1	-1	-1	20,77%	20,61%	19,32%	18,66%	16,72%	13,39%	20,09%	19,72%	18,97%	22,60%
6	-1	1	-1	1	22,13%	20,50%	22,75%	19,32%	20,34%	17,71%	22,24%	20,78%	12,40%	21,51%
7	-1	1	1	-1	10,37%	10,34%	10,71%	8,11%	9,85%	9,65%	8,15%	9,69%	8,97%	10,50%
8	-1	1	1	1	9,55%	10,55%	11,59%	9,32%	10,49%	9,88%	11,45%	10,93%	9,69%	10,71%
9	1	-1	-1	-1	47,27%	51,54%	56,70%	52,42%	49,97%	47,42%	50,80%	41,24%	40,74%	51,34%
10	1	-1	-1	1	36,41%	53,30%	53,28%	47,87%	39,66%	50,44%	53,03%	45,23%	55,96%	52,09%
11	1	-1	1	-1	25,90%	27,30%	26,01%	24,12%	24,40%	23,29%	25,67%	26,02%	27,37%	19,90%
12	1	-1	1	1	23,22%	21,27%	25,56%	22,42%	17,82%	20,19%	25,63%	25,74%	20,54%	26,57%
13	1	1	-1	-1	51,74%	52,88%	45,85%	51,55%	41,28%	45,80%	50,53%	54,11%	51,30%	53,68%
14	1	1	-1	1	49,74%	47,49%	53,30%	43,03%	32,89%	50,66%	49,08%	29,33%	47,92%	54,25%
15	1	1	1	-1	17,76%	24,38%	25,76%	25,98%	25,42%	23,87%	26,07%	25,61%	21,60%	26,68%
16	1	1	1	1	24,97%	25,89%	25,93%	22,30%	26,47%	24,30%	25,50%	26,07%	23,18%	23,17%

De volgende outputfactor is de doorlooptijd van de (export- en import-) containers. Deze tijden werden door Arena berekend aan de hand van twee 'Record' blokken. Deze factoren stellen de tijd voor gedurende de containers zich in de terminal bevonden. Met andere woorden, het is het tijdsinterval tussen de 'Container arrival time' en het moment dat de container de 'Record' blok bereikt. Het is de bedoeling dat deze tijd zo laag mogelijk is. In Tabel 12 is te zien dat de doorlooptijd voor exportcontainers gemiddeld het laagste is voor scenario 12 en het hoogste voor scenario 9. Voor de exportcontainers hebben vooral het aantal containers (1) en het aantal brugkranen (3) een invloed op de doorlooptijd. Het is echter wel opmerkelijk dat de doorlooptijd voor weinig containers en veel brugkranen groter is dan voor veel containers en veel brugkranen. De enige veranderende variabele is hier het aantal containers en het lijkt onlogisch dat de doorlooptijd lager wordt voor een groter aantal te verwerken containers.

Tabel 12: Factorieel ontwerp: doorlooptijd van de exportcontainers.

					Doorlooptijd exportcontainers									
	(1)	(2)	(3)	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	2,259	2,631	2,347	2,905	3,125	3,013	2,747	2,123	5,132	2,329
2	-1	-1	-1	1	2,200	2,474	3,415	4,052	3,200	2,190	2,405	2,398	3,262	2,683
3	-1	-1	1	-1	2,341	2,102	2,524	2,401	2,804	2,391	2,028	2,046	2,921	2,316
4	-1	-1	1	1	2,583	2,170	2,204	2,332	2,831	2,777	2,137	2,200	6,771	2,138
5	-1	1	-1	-1	2,864	2,133	2,515	3,045	3,080	3,034	2,433	1,992	4,453	2,637
6	-1	1	-1	1	3,213	2,511	3,336	2,462	2,793	2,854	2,016	2,918	3,012	1,975
7	-1	1	1	-1	1,949	2,506	1,698	1,850	2,669	2,426	2,421	2,284	2,923	2,519
8	-1	1	1	1	2,556	1,894	2,418	2,240	3,022	2,067	3,935	2,157	6,872	2,200
9	1	-1	-1	-1	3,966	4,153	4,467	3,639	5,029	3,930	5,827	3,366	4,977	5,369
10	1	-1	-1	1	2,335	4,132	4,503	2,710	3,497	3,936	5,105	2,474	6,155	4,418
11	1	-1	1	-1	1,635	1,599	1,493	1,558	2,555	1,449	1,428	1,504	2,798	1,511
12	1	-1	1	1	1,708	2,212	1,400	1,715	1,687	1,243	1,281	1,333	1,757	1,768
13	1	1	-1	-1	2,655	3,089	3,076	5,155	3,907	2,595	4,247	4,777	4,062	5,488
14	1	1	-1	1	4,592	2,541	4,462	2,733	3,310	5,140	3,981	4,320	4,454	4,578
15	1	1	1	-1	1,478	1,835	1,350	1,600	2,818	1,473	1,250	1,378	1,831	1,664
16	1	1	1	1	1,663	1,656	1,408	1,343	2,394	1,621	1,975	1,653	1,978	2,313

Voor de importcontainers is scenario 9 eveneens het slechtste en is scenario 15 het beste. Voor de doorlooptijd van de importcontainers is er een duidelijk onderscheid tussen weinig en veel containers (1), behalve wanneer de bezetting van de overlaaduitrustingen maximaal is. In dit laatste geval zijn er waarschijnlijk zo veel uitrustingen actief dat de containers steeds vrijwel onmiddellijk verplaatst kunnen

worden, ongeacht het aantal. Het aantal uitrustingen (2+3) heeft enkel een invloed op de doorlooptijd van de importcontainers wanneer het aantal te verwerken containers groot is en niet wanneer het aantal containers laag is. Dit komt omdat een lage bezetting van de overlaaduitrustingen voldoende is om weinig containers te verwerken, een extra overlaaduitrusting zal geen verbetering geven omdat er te weinig werk is.

Tabel 13: Factorieel ontwerp: doorlooptijd van de importcontainers.

					Doorlooptijd importcontainers									
	(1)	(2)	(3)	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	1,318	1,724	2,043	0,970	0,872	1,051	3,092	2,491	2,202	1,860
2	-1	-1	-1	1	1,158	1,124	2,917	1,351	0,854	1,800	3,382	1,411	0,859	3,221
3	-1	-1	1	-1	1,200	1,552	1,634	1,651	1,108	1,456	1,626	3,045	2,177	1,158
4	-1	-1	1	1	2,279	2,035	1,243	2,458	0,709	1,635	3,295	1,700	0,768	1,843
5	-1	1	-1	-1	2,098	1,687	2,056	1,831	0,818	0,967	1,121	1,531	1,883	1,514
6	-1	1	-1	1	2,739	1,468	3,147	2,164	0,778	1,693	2,180	1,326	0,723	1,009
7	-1	1	1	-1	2,042	1,595	1,787	0,841	0,529	1,500	1,023	2,043	0,763	1,811
8	-1	1	1	1	1,857	1,326	2,008	2,114	0,645	1,559	3,691	2,495	0,710	2,261
9	1	-1	-1	-1	3,619	3,263	3,898	2,792	3,854	3,524	5,159	2,262	2,454	4,423
10	1	-1	-1	1	1,234	3,648	3,019	1,926	2,349	3,940	4,245	1,208	4,539	4,095
11	1	-1	1	-1	4,021	4,767	1,814	2,732	4,838	3,480	1,789	1,262	2,969	1,251
12	1	-1	1	1	2,049	2,130	2,828	1,823	1,248	1,764	1,922	3,043	1,366	4,119
13	1	1	-1	-1	1,340	2,415	1,828	3,655	1,829	2,063	2,900	3,502	1,928	3,661
14	1	1	-1	1	3,510	1,813	3,322	1,516	2,131	3,582	3,296	0,701	2,451	3,502
15	1	1	1	-1	0,5526	0,6178	1,0090	0,6304	0,8436	0,7416	1,3759	0,6406	0,6792	1,2862
16	1	1	1	1	1,3241	2,0815	1,4438	0,8513	2,0132	2,1877	1,5183	0,7770	0,9327	0,6540

De laatste outputfactor is de winst per jaar. Deze factor werd berekend met behulp van het softwareprogramma 'Microsoft Office Excel' en aan de hand van de eerder vermelde gegevens (Tabel 8). Hiervoor werd de volgende formule toegepast:

WINST PER JAAR = 'winst van verwerkte containers' – 'kosten van verwerkte containers' – 'opslagkosten van containers' – 'aankoop van uitrustingen' – 'onderhoud van uitrustingen'

- Winst van verwerkte containers = € 50 x 'aantal verwerkte containers' x 250
- Kosten van verwerkte containers = € 30 x 'aantal verwerkte containers' x 250
- Opslagkosten van containers = € 3,45 x 'gemiddeld aantal containers in opslag' x 'tijd in opslag' x 250
- Aankoop van uitrustingen = € 350.000 x 'aantal reachstackers' : 10 + 1.250.000 x 'aantal brugkranen' : 20

- Onderhoud van uitrustingen = € 85.000 x 'aantal reachstackers' + € 250.000 x 'aantal brugkranen'

Assumptie 1: Voor de berekeningen weer te geven op jaarbasis zijn er 250 werkdagen per jaar in rekening genomen.

Assumptie 2: Voor de aankoop van de uitrustingen werd ervan uitgegaan dat de reachstackers worden afgeschreven over 10 jaar en de brugkranen over 20 jaar.

Tabel 14: Factorieel ontwerp: winst per jaar.

					Winst per jaar				
	(1)	(2)	(3)	(4)	1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	-1	381.644,34 €	776.349,75 €	1.087.831,64 €	832.486,31 €	592.137,08 €
2	-1	-1	-1	1	858.393,03 €	830.053,76 €	745.271,00 €	986.222,98 €	740.307,57 €
3	-1	-1	1	-1	62.851,12 €	737.223,13 €	522.273,53 €	301.779,84 €	504.186,34 €
4	-1	-1	1	1	293.022,10 €	392.519,01 €	419.444,09 €	257.054,77 €	237.151,08 €
5	-1	1	-1	-1	545.608,47 €	609.965,90 €	630.541,80 €	501.302,29 €	355.784,77 €
6	-1	1	-1	1	546.786,34 €	541.062,33 €	449.990,73 €	403.330,27 €	580.783,26 €
7	-1	1	1	-1	95.870,11 €	132.187,07 €	259.196,64 €	21.275,31 €	218.047,99 €
8	-1	1	1	1	58.553,89 €	299.489,70 €	46.029,33 €	69.627,74 €	229.326,17 €
9	1	-1	-1	-1	3.023.643,44 €	3.180.157,05 €	3.170.058,43 €	3.159.762,76 €	3.107.465,56 €
10	1	-1	-1	1	2.196.510,86 €	3.189.119,16 €	3.067.351,67 €	3.067.629,01 €	2.418.604,15 €
11	1	-1	1	-1	2.724.105,08 €	2.843.372,84 €	2.487.022,99 €	2.501.810,44 €	2.730.670,57 €
12	1	-1	1	1	2.610.041,53 €	2.479.615,50 €	2.772.410,93 €	2.683.374,32 €	1.548.962,56 €
13	1	1	-1	-1	2.870.718,11 €	2.883.938,34 €	2.499.098,84 €	2.950.597,25 €	2.122.397,70 €
14	1	1	-1	1	2.774.080,09 €	2.692.354,82 €	2.894.852,36 €	2.414.130,84 €	1.672.452,38 €
15	1	1	1	-1	1.597.908,57 €	2.265.840,32 €	2.593.407,25 €	2.583.712,81 €	2.613.453,19 €
16	1	1	1	1	1.996.291,29 €	2.258.647,67 €	2.229.846,20 €	2.098.336,81 €	2.569.118,28 €

					Winst per jaar				
	(1)	(2)	(3)	(4)	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	265.509,47 €	703.046,67 €	791.229,91 €	852.195,28 €	749.701,30 €
2	-1	-1	-1	1	731.583,37 €	635.141,38 €	751.857,58 €	237.368,91 €	691.540,10 €
3	-1	-1	1	-1	469.805,77 €	341.898,24 €	448.989,84 €	473.588,31 €	428.788,42 €
4	-1	-1	1	1	406.424,59 €	153.308,58 €	449.958,85 €	109.304,81 €	225.010,81 €
5	-1	1	-1	-1	34.129,99 €	472.728,91 €	485.182,31 €	561.827,95 €	512.698,87 €
6	-1	1	-1	1	433.588,44 €	499.929,29 €	517.918,15 €	4.157,17 €	616.489,27 €
7	-1	1	1	-1	157.715,42 €	72.056,74 €	115.342,76 €	13.286,14 €	161.253,91 €
8	-1	1	1	1	172.691,18 €	341.468,96 €	126.188,07 €	193.056,26 €	150.755,21 €
9	1	-1	-1	-1	3.080.573,58 €	2.871.066,30 €	2.192.546,88 €	2.126.397,76 €	3.054.265,15 €
10	1	-1	-1	1	3.400.663,31 €	3.041.771,88 €	2.574.060,41 €	3.227.480,89 €	3.145.339,44 €
11	1	-1	1	-1	2.674.425,02 €	2.813.884,66 €	2.721.019,21 €	2.790.476,77 €	1.960.419,22 €
12	1	-1	1	1	2.124.534,78 €	2.556.879,28 €	2.782.438,02 €	1.881.272,78 €	2.751.915,02 €
13	1	1	-1	-1	2.523.823,82 €	2.877.385,96 €	2.926.917,20 €	2.875.715,82 €	2.783.713,88 €
14	1	1	-1	1	2.782.345,75 €	2.893.722,80 €	1.329.133,54 €	2.637.319,68 €	2.798.539,01 €
15	1	1	1	-1	2.540.217,49 €	2.125.575,52 €	2.455.734,79 €	1.868.159,36 €	2.195.290,13 €
16	1	1	1	1	1.938.354,27 €	1.951.774,57 €	2.734.001,31 €	2.073.756,07 €	2.044.806,52 €

In Tabel 14 is duidelijk waar te nemen dat het verwerken van veel containers (1) de winst het meest doet stijgen. Daarnaast maken ook het aantal reachstackers (2) en het aantal brugkranen (3) een verschil in de winst omdat dit relatief grote investeringen zijn. De laagste winst wordt gerealiseerd bij een laag aantal te verwerken containers en een hoge bezetting van uitrustingen. Dit is logisch omdat er slechts weinig omzet is en men toch hoge investeringen in de capaciteit doet. Voor de hoogste winst geldt het omgekeerde: door het grote aantal te verwerken containers wordt er een grote omzet behaald en er wordt slechts weinig geïnvesteerd in overlaaduitrustingen.

8.4.2 Berekening van de hoofd- en interactie-effecten

De hoofd- en interactie-effecten van het factorieel ontwerp werden berekend met behulp van het softwareprogramma 'Microsoft Office Excel'. Voor het berekenen van de effecten werden de volgende formules gebruikt (Law, 2006):

$$\text{Hoofdeffect} = (\text{waarde}_1 \times R_1 + \text{waarde}_2 \times R_2 + \text{waarde}_3 \times R_3 + \dots + \text{waarde}_{16} \times R_{16}) / 2^{k-1}$$

$$\text{Interactie-effect} = (\text{waarde}_{1,a} \times \text{waarde}_{1,b} \times R_1 + \text{waarde}_{2,a} \times \text{waarde}_{2,b} \times R_2 + \text{waarde}_{3,a} \times \text{waarde}_{3,b} \times R_3 + \dots + \text{waarde}_{16,a} \times \text{waarde}_{16,b} \times R_{16}) / 2^{k-1}$$

Het interactie-effect is gelijkaardig voor meerdere factoren (a, b, c, d)

Tabel 15: Hoofd- en interactie-effecten van het factorieel ontwerp.

	Benutting reachstackers	Benutting brugkranen	Doorlooptijd exportcontainer	Doorlooptijd importcontainer	Winst/jaar
effect (1)	[0,16 ; 0,24]	[0,18 ; 0,25]	[-0,81 ; 1,17]	[-0,44 ; 1,80]	[1.920.153,74 ; 2.381.120,47]
effect (2)	[-0,19 ; -0,13]	[-0,006 ; 0,01]	[-0,65 ; 0,53]	[-1,17 ; -0,04]	[-395.669,28 ; -132.454,14]
effect (3)	[-0,05 ; 0,05]	[-0,21 ; -0,13]	[-1,88 ; -0,68]	[-1,44 ; 0,33]	[-785.502,12 ; 185.869,46]
effect (4)	[-0,05 ; 0,03]	[-0,03 ; 0,02]	[-0,59 ; 0,71]	[-0,84 ; 0,91]	[-273.580,85 ; 123.522,64]
effect 1-2	[-0,10 ; -0,04]	[-0,01 ; 0,009]	[-0,60 ; 0,53]	[-0,99 ; 0,03]	[-151.061 ; 89.402]
effect 1-3	[-0,04 ; 0,04]	[-0,12 ; -0,03]	[-2,01 ; -0,17]	[-1,18 ; 0,14]	[-395.601 ; 349.174,2]
effect 1-4	[-0,07 ; 0,04]	[-0,05 ; 0,03]	[-0,74 ; 0,40]	[-1,01 ; 0,66]	[-362.876 ; 259.788,7]
effect 2-3	[-0,04 ; 0,04]	[-0,03 ; 0,04]	[-0,63 ; 0,83]	[-1,02 ; 0,68]	[-307.231 ; 330.472]
effect 2-4	[-0,04 ; 0,06]	[-0,03 ; 0,03]	[-0,43 ; 0,68]	[-0,62 ; 1,18]	[-246.128 ; 239.357]
effect 3-4	[-0,05 ; 0,05]	[-0,02 ; 0,03]	[-0,59 ; 0,99]	[-0,71 ; 0,88]	[-300.170 ; 250.257,7]
effect 1-2-3	[-0,03 ; 0,03]	[-0,02 ; 0,03]	[-0,40 ; 0,49]	[-0,69 ; 0,30]	[-319.277 ; 315.376,6]
effect 1-2-4	[-0,06 ; 0,08]	[-0,10 ; -0,03]	[0,49 ; 1,68]	[-0,84 ; 1,17]	[-314.108 ; 237.050]
effect 1-3-4	[-0,04 ; 0,05]	[-0,04 ; 0,05]	[-1,32 ; 1,13]	[-0,75 ; 0,73]	[-300.028 ; 303.073,3]
effect 2-3-4	[-0,04 ; 0,07]	[-0,03 ; 0,04]	[-0,57 ; 0,54]	[-0,64 ; 0,85]	[-250.496 ; 397.690,4]
effect 1-2-3-4	[-0,04 ; 0,05]	[-0,03 ; 0,04]	[-0,21 ; 0,64]	[-0,75 ; 0,86]	[-247.621 ; 295.394,1]

In Tabel 15 worden de betrouwbaarheidsintervallen van de hoofd- en interactie-effecten weergegeven. Deze intervallen werden berekend op basis van de effecten voor de tien replicaties met een betrouwbaarheid van 95%. De waarden voor alle effecten zijn opgenomen in *bijlage 4*.

De effecten die significant zijn (nul is geen element van het interval), zijn aangeduid in het groen, de effecten die niet significant zijn (nul valt binnen het interval), zijn rood gekleurd. Slechts drie van de elf interactie-effecten hebben voor minstens één outputfactor een significante waarde. Deze significante interactie-effecten zijn terug te vinden voor de benutting van de reachstackers, de benutting van de brugkranen en de doorlooptijd van de exportcontainers. Het hoofdeffect van de aankomstratio van de vrachtwagens is echter voor geen enkele outputfactor relevant. Belangrijk voor het interpreteren van de interactie-effecten is dat deze niet afzonderlijk gezien mogen worden van de relevante hoofdeffecten, zelfs wanneer deze hoofdeffecten op zichzelf niet significant zijn.

Voor de benutting van de reachstackers is er één significant interactie-effect, namelijk dat van het aantal containers en het aantal reachstackers (1-2). De relevante hoofdeffecten, namelijk het aantal containers (1) en het aantal reachstackers (2) zijn ook afzonderlijk significant, maar worden geïnterpreteerd voor het gehele plaatje. Voor de interpretatie van de effecten wordt de middelste waarde van het betrouwbaarheidsinterval gebruikt. Deze waarden worden vermenigvuldigd met het niveau van de inputfactor (1 of -1) en daarna bij elkaar opgeteld. Voor het interactie-effect van het aantal containers en het aantal reachstackers worden deze waarden als voorbeeld berekend, dit is weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16: Waarden voor het interpretatie van de effecten.

Effect (1)	$m = 0,20$	
Effect (2)	$m = -0,16$	
Effect (1-2)	$m = -0,06$	
$V = 1, R = 1$	$1 \times 0,2 + 1 \times -0,16 + 1 \times 1 \times -0,06$	-0,02
$V = 1, R = -1$	$1 \times 0,2 + -1 \times -0,16 + 1 \times -1 \times -0,06$	0,32
$V = -1, R = 1$	$-1 \times 0,2 + 1 \times -0,16 + -1 \times 1 \times -0,06$	-0,30
$V = -1, R = -1$	$-1 \times 0,2 + -1 \times -0,16 + -1 \times -1 \times -0,06$	-0,10

De benutting van de reachstackers zal enkel stijgen wanneer er een groot aantal containers verwerkt moet worden en de bezetting van de reachstackers laag is. Voor een groot aantal containers en een grote bezetting zal de benutting slechts weinig dalen. Voor een laag aantal containers en een lage bezetting zal de benutting al iets meer dalen, maar voor een laag aantal containers en een hoge bezetting daalt de benutting van de reachstackers het meest. Deze effecten zijn logisch te verklaren: wanneer er veel containers verwerkt moeten worden en er weinig reachstackers actief zijn, is er veel werk en zal bijgevolg de benutting van de reachstackers ook hoger zijn; wanneer er echter veel reachstackers actief zijn in de terminal zal de werklast verdeeld worden en ligt de benutting lager. Voor de verwerking van weinig containers is geen hoge bezetting van de reachstackers nodig. Wanneer er dus veel reachstackers actief zijn, zal de benutting van de reachstackers sterk dalen. Maar zelfs de lage bezetting van reachstackers heeft een daling van de benutting tot gevolg. De bezetting kan bij een laag aantal te verwerken containers dus nog verlaagd worden naar één reachstacker.

Voor de benutting van de brugkranen zijn er twee relevante interactie-effecten, namelijk dat van het aantal containers en het aantal brugkranen (1-3), en van het aantal containers, het aantal reachstackers en de aankomstratio van de vrachtwagens (1-2-4). De berekening van de interpretatiewaarden gebeurt analoog aan het vorige voorbeeld, deze berekeningen worden vanaf nu opgenomen in *bijlage 5*. De interpretatie van het interactie-effect tussen het aantal containers en het aantal brugkranen is gelijkaardig aan de voorgaande interpretatie. De benutting van de brugkranen zal enkel stijgen wanneer er veel containers verwerkt moeten worden en de bezetting van de brugkranen laag is. Voor een groot aantal containers en een grote bezetting zal de benutting slechts weinig dalen. Voor een laag aantal containers en een lage bezetting zal de benutting al iets meer dalen, maar voor een laag aantal containers en een hoge bezetting daalt de benutting van de brugkranen het meest. Het is logisch dat wanneer het aantal te verwerken containers groot en de bezetting van de brugkranen laag is, er veel werk zal zijn en de benutting van de brugkranen bijgevolg ook hoog zal zijn. Wanneer er slechts een laag aantal containers te verwerken is, is er weinig werk. Bij een hoge bezetting van de brugkranen zal de benutting dus laag zijn. Er is geen verklaring voor de significantie van het interactie-effect van het aantal containers, het aantal reachstackers en de aankomstratio van de vrachtwagens, want het is niet logisch dat het aantal reachstackers invloed heeft op de benutting van de brugkranen.

De twee interactie-effecten die een significante invloed hebben op de doorlooptijd van de exportcontainers zijn dat tussen het aantal containers en het aantal brugkranen (1-3) en dat tussen het aantal containers, het aantal reachstackers en de aankomstratio van de vrachtwagens (1-2-4). Voor het effect van het aantal containers en het aantal brugkranen wordt gevonden dat een veel containers en een grote bezetting van brugkranen een sterke daling van de doorlooptijd als gevolg heeft. De doorlooptijd daalt ook wanneer het aantal containers laag en de bezetting van de brugkranen hoog is. Een laag aantal containers en lage bezetting hebben nauwelijks invloed op de doorlooptijd, maar een veel containers met een lage bezetting hebben een grote stijging van de doorlooptijd als gevolg. Dat de doorlooptijd van de exportcontainers hoog oploopt wanneer het aantal containers groot en de bezetting van de brugkranen laag is, is logisch: er is veel werk voor weinig uitrustingen dus het werk gaat traag vooruit. Het is echter moeilijk te verklaren waarom de doorlooptijd meer daalt voor een veel containers en een hoge bezetting dan voor een weinig containers en een hoge bezetting. Dat het effect van het aantal brugkranen meespeelt en niet dat van het aantal reachstackers wordt verklaard doordat de exportcontainers steeds rechtstreeks door een brugkraan van de vrachtwagen op een wagon worden geplaatst. Er is daarom geen verklaring voor de significantie van het interactie-effect van het aantal containers, het aantal reachstackers en de aankomstratio van de vrachtwagens.

Er is slechts één factor die een invloed heeft op de doorlooptijd van de importcontainers, namelijk het hoofdeffect van het aantal reachstackers (2). Dit effect is negatief gerelateerd met de doorlooptijd van de importcontainers. Wanneer er een hoge bezetting van reachstackers is, zal de doorlooptijd dalen. De importcontainers worden hoofdzakelijk door reachstackers verwerkt waardoor het effect van het aantal brugkranen niet relevant is.

Er zijn twee effecten die de winst beïnvloeden, namelijk de hoofdeffecten van het aantal containers (1) en het aantal reachstackers (2). Aangezien de elementen om de winst te berekenen zelf bepaald werden, zijn deze effecten makkelijk te voorspellen: de winst per verwerkte container is groter dan de kost per verwerkte container dus het aantal containers is positief gerelateerd aan de winst, maar de aankoop en het onderhoud van de reachstackers zijn kosten dus deze laten de winst dalen. Het is echter opmerkelijk dat het aantal brugkranen geen significante invloed heeft op de winst terwijl deze factor toch

ook een groot deel van de kosten uitmaakt. Het betrouwbaarheidsinterval voor het aantal brugkranen is wel zeer asymmetrisch naar links toe dus het effect zal meestal negatief zijn. Het element dat niet naar voor komt in het factorieel ontwerp zijn de opslagkosten, maar aangezien deze kosten slechts 3% van de totale kosten zijn, is dit geen sterk verklarende variabele.

8.5 Conclusie

Uit het factorieel ontwerp is gebleken dat vooral het aantal containers en het aantal uitrustingen een invloed heeft op de outputfactoren. Wanneer zowel de doorlooptijd en de benutting van de uitrustingen hoog zijn, kan men er voor opteren om een nieuwe overlaaduitrusting aan te schaffen. Wanneer er hoofdzakelijk importcontainers verwerkt worden, kan men best kiezen voor een reachstacker. Wanneer er echter meer exportcontainers verwerkt worden, is een nieuwe brugkraan de betere optie. Uit de simulatie blijkt dat men slechts weinig uitrustingen nodig heeft om efficiënt te werken, voor 750 containers is een lage bezetting van uitrustingen, namelijk twee reachstackers en één brugkraan, voldoende. Voor 300 containers zou één reachstackers minder dan de lage bezetting zelfs voldoende zijn. De aankomstratio van de vrachtwagens heeft nauwelijks invloed op de outputfactoren. Een reden hiervoor kan zijn dat de aankomstratio's niet genoeg verschillen van elkaar om een invloed te zien op de doorlooptijd van de containers. In een meer realistisch model kan de aankomstratio van vrachtwagens misschien wel een interessante factor zijn om te onderzoeken.

Dit simulatiemodel is niet realistisch. Een eerste opmerking hieromtrent is dat de containers in het model volgens het 'First in First out'-principe verwerkt worden, maar in realiteit is een container steeds gekoppeld aan één bepaalde vrachtwagen of trein. Doordat een container dus niet op de eerste de beste vrachtwagen geplaatst kan worden, en zelfs dikwijls dagen opgeslagen wordt alvorens de vrachtwagen deze komt ophalen, zal de gemiddelde doorlooptijd van een container in werkelijkheid veel hoger zijn. Een tweede opmerking is dat een terminal in werkelijkheid 's nachts gesloten is voor vrachtwagens. Gedurende de nacht liggen de werken stil of gebeuren er andere werkzaamheden, zoals het herstapelen van containers of het herladen van containers van de ene trein naar een andere trein. In het simulatiemodel gebeurt er enkel overslag van trein naar vrachtwagen (en omgekeerd) en dit gebeurt gedurende een volledig etmaal,

zonder sluitingsuren. Dit zorgt er opnieuw voor dat de doorlooptijd van de containers lager is dan in werkelijkheid het geval zou zijn.

9. Link tussen de literatuurstudie en het praktijkgedeelte

9.1 Bespreking van de inputfactoren

Van de inputfactoren die gekozen werden voor het simulatiemodel worden de overlaaduitrustingen het vaakst besproken in de literatuur (bijvoorbeeld Ballis & Golias, 2002; Kozan, 2006; Vis, 2006). Deze factoren kunnen vrij eenvoudig aangepast worden, men kan steeds uitrustingen aankopen of verkopen, en ze hebben een grote invloed zowel op de doorlooptijd van containers als op de benutting van de uitrustingen. Men moet natuurlijk wel de aankoop van een uitrusting kunnen verantwoorden door een stijging van het aantal te verwerken containers en bijgevolg een stijging in winst. Deze factoren kunnen dus beïnvloedt worden door de terminaloperatoren.

Ook het aantal te verwerken containers wordt regelmatig besproken in de literatuur (bijvoorbeeld Bottani & Rizzi, 2007; Limbourg & Jourquin, 2010; Niérat, 1997). Deze factor wordt meestal geanalyseerd bij het bepalen van de locatie van een terminal omdat het aantal te verwerken containers afhankelijk is van de locatie. Er kan ook een wijziging in het aantal containers gebeuren door veranderende omstandigheden in de omgeving van de terminal. Men kan dan door middel van een simulatiemodel nagaan wat de invloed hiervan is op de outputfactoren en eventueel wijzigingen maken in de bezetting van de uitrustingen. Deze factor is dus eerder een gegeven parameter die bepaald wordt door invloeden van buitenaf. Terminaloperatoren kunnen hierop inspelen door factoren te wijzigen waar ze wel grip op hebben, zoals de overlaaduitrustingen.

De vierde en laatste factor die in het simulatiemodel naar voor kwam, is de aankomstratio van de vrachtwagens. Deze factor wordt meestal beschouwd als een vast gegeven. Hoewel er in het simulatiemodel van dit werkstuk geen significante invloed van de aankomstratio gevonden werd, kan het toch interessant zijn om deze factor opnieuw op te nemen in een meer realistisch model. Men kan dan proberen om via simulatiemodellen een gunstigere spreiding van de aankomsttijden van vrachtwagens te achterhalen. Voor een succesvolle implementatie hiervan is het belangrijk dat er een goede samenwerking en communicatie is tussen logistieke bedrijven en terminals. Over deze factor hebben de terminaloperatoren geen volledige controle, maar door een goede samenwerking met andere logistieke bedrijven kan men deze factor toch beïnvloeden.

9.2 Bespreking van de outputfactoren

De outputfactoren zijn indicatoren voor de kwaliteit van de service en de efficiëntie van de terminal. Een analyse van deze factoren kan uitwijzen of er wijzigingen nodig zijn in de capaciteit van de terminal.

De outputfactor die het meest terugkomt in de literatuur is de doorlooptijd, of andere prestatietijden. Dit is een belangrijke factor omdat deze ook de kwaliteit van de service omvat. Voor het simulatiemodel ligt de doorlooptijd van de containers zeer laag (maximaal 5 h). Dit komt omdat de containers volgens het FIFO-principe verwerkt worden en niet gekoppeld zijn aan een bepaalde vrachtwagen. In werkelijkheid zullen de doorlooptijden meer gespreid zijn: sommige containers worden snel opgehaald en andere blijven meerdere dagen opgeslagen in de terminal.

Ook de winst, maar meestal enkel de kosten, komen regelmatig terug in de literatuur. Deze outputfactor is belangrijk omdat investeringen meestal ook budgetbeperkingen hebben en men steeds moet kunnen voorspellen hoeveel en hoe snel een investering kan opbrengen. Een simulatiemodel is een goed instrument om dergelijke voorspellingen te maken.

In de literatuur wordt er minder aandacht besteed aan de benutting van de overlaaduitrustingen. Het is echter toch belangrijk om te weten hoeveel overlaaduitrustingen nodig zijn voor een bepaalde hoeveelheid werk, wanneer het noodzakelijk is om een extra overlaaduitrusting aan te schaffen of wanneer men misschien beter een overlaaduitrusting van de hand kan doen.

9.3 Bemerkingen

Hoewel men in de theorie benadrukt dat het zeer voordelig is om zo veel mogelijk containers rechtstreeks over te laden, gebeurt dit in de praktijk enkel voor exportcontainers, en zelfs maar voor een fractie van de exportcontainers omdat veel vrachtwagens containers reeds afleveren voordat de trein aanwezig is in de terminal. Importcontainers blijven meestal meerdere dagen opgeslagen in de terminal voordat deze opgehaald worden door een vrachtwagen. Er is voor deze containers zeker sprake van double handling. Het is dus niet altijd mogelijk om theorie in praktijk om te zetten

omdat er met veel partijen rekening gehouden moet worden. Goede samenwerking en communicatie kan hier misschien voor verbetering zorgen.

In werkelijkheid zijn er veel meer kost- en opbrengstposten voor het berekenen van de winst, zoals personeelskosten, verzekeringen, belastingen en uitzonderlijke resultaten. Het was in dit werkstuk echter enkel relevant om de kosten en opbrengsten van de besproken factoren te bekijken in plaats van de totale winst.

Het is moeilijk om een echt realistisch model te bouwen met het softwareprogramma Rockwell Arena. Het is een gebruiksvriendelijk programma, maar het is ontwikkeld voor een uitgebreide reeks toepassingen waardoor het moeilijk is om specifieke onderdelen in het simulatiemodel op te nemen. Het programma houdt bijvoorbeeld geen rekening met oppervlaktes en afstanden waardoor er veel schattingen en gemiddelde waarden gebruikt worden voor tijdsassumpties, het programma kan ook niet een bepaalde container aan een bepaalde vrachtwagen koppelen. Arena kan gebruikt worden voor verkennend en algemeen onderzoek, maar voor specifiek onderzoek kan men beter te rade gaan bij een meer gespecialiseerd softwarepakket.

Referentielijst

- Alicke, K., Arnold, D. (1998). Optimization of a multistage transshipment process using constraint logic programming. Opgevraagd op 21 oktober, 2010, via <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.27.5203>.
- Alicke, K. (2002). Modeling and optimization of the intermodal terminal Mega Hub. *OR Spectrum*, 24, 1 – 17.
- Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I. (2004). Modelling a rail/road intermodal transportation system. *Transportation Research Part E*, 40, 255 – 270.
- Ballis, A., Golias, J. (2002). Comparative evaluation of existing and innovative rail – road freight transport terminals. *Transportation Research Part A*, 36, 593 – 611.
- Benson, D., Bugg, R., Whitehead, G. (1994). *Transport and logistics*. Hertfordshire: Woodhead-Faulkner.
- Bergqvist, R., Tornberg, J. (2008). Evaluating locations for intermodal transport terminals. *Transportation Planning and Technology*, 31(4), 465 – 485.
- Bontekoning, Y.M., Macharis, C., Trip, J.J. (2004). Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail – truck freight transport literature. *Transportation Research Part A*, 38, 1 – 34.
- Bostel, N., Dejax, P. (1998). Models and algorithms for container allocation problems on trains in a rapid transshipment shunting yard. *Transportation Science*, 32(4), 370 – 379.
- Bottani, E., Rizzi, A. (2007). An analytical methodology to estimate the potential volume attracted by a rail-road intermodal terminal. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 10(1), 11 – 28.

- Boysen, N., Fliedner, M. (2010). Determining crane areas in intermodal transshipment yards: The yard partition problem. *European Journal of Operational Research*, 204, 336 – 342.
- Caris, A., Macharis, C., Janssens, G.K. (2008). Planning problems in intermodal freight transport: accomplishments and prospects. *Transportation Planning and Technology*, 31(3), 277 – 302.
- Ceyssens, B. (2007). Simulatie als instrument voor efficiëntiebepaling van de werking op een containerterminal. Opgevraagd op 20 mei, 2010, via <https://doclib.uhasselt.be/dspace/handle/1942/1905>.
- Corry, P., Kozan, E. (2006). An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains. *Computers & Operations Research*, 33, 1 – 17.
- Crainic, T.G., Florian, M., Léal, J.E. (1990). A model for the strategic planning of national freight transportation by rail. *Transportation Science*, 24(1), 1 – 24.
- Crainic, T.G., Kim, K.H. (2007). Intermodal transportation. In C. Barnhart & G. Laporte (Eds.), *Handbooks in operations research and management science. Volume 14. Transportation*. (pp. 467–538). Amsterdam: North-Holland.
- European Conference of Ministers of Transport, Economic Commission for Europe, European Commission (2001). Terminology on combined transport. Opgevraagd op 3 mei, 2010, via <http://www.internationaltransportforum.org/europe/ecmt/intermodal/combdocs.html>.
- Hansen, I.A. (2004). Automated shunting of rail container wagons in ports and terminal areas. *Transportation Planning and Technology*, 27(5), 385 – 401.
- Inter Ferry Boats (z.d.). IFB Terminals. Opgevraagd op 28 maart, 2011 via <http://www.interferryboats.be/ifb-terminals/ifb-terminals>

- Konings, R., Bontekoning, Y., Maat, K. (2006). De concurrentiekracht van intermodaal vervoer in ruimtelijk perspectief: intermodaal op welke schaal? In M. Despontin & C. Macharis (Eds.), *Mobiliteit en (groot)stedenbeleid* (pp. 181 – 205). Brussel: VUBPRESS.
- Kozan, E. (2006). Optimum capacity for intermodal container terminals. *Transportation Planning and Technology*, 29(6), 471 – 482.
- Lam, L. (1998). Crane prices – boom, bust or bonanza? Opgevraagd op 3 april, 2011 via http://www.portek.com/publications/Crane_Prices_Boom.pdf
- Law, A.M. (2006). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Limbourg, S., Jourquin, B. (2009). Optimal rail-road container terminal locations on the European network. *Transportation Research Part E*, 45, 551 – 563.
- Limbourg, S., Jourquin, B. (2010). Market area of intermodal rail-road container terminals embedded in a hub-and-spoke network. *Papers in Regional Science*, 89(1), 135 – 154.
- Linn, R.J., Zhang, C.Q. (2003). A heuristic for dynamic yard crane deployment in a container terminal. *Institute of Industrial Engineers Transactions*, 35(2), 161 – 174.
- Macharis, C., & Verbeke, A. (1999). *Intermodaal binnenvaartvervoer: economische en strategische aspecten van het intermodaal binnenvaartvervoer in Vlaanderen*. Leuven/Apeldoorn: Garant.
- Marín Martínez, F., García Gutiérrez, I., Ortiz Oliveira, A., Arreche Bedia, L.M. (2004). Gantry crane operations to transfer containers between trains: a simulation study of a Spanish terminal. *Transportation Planning and Technology*, 27(4), 261 – 284.
- Meyrick and associates, 2006. National Intermodal Terminal Study. Opgevraagd op 24 maart, 2011 via http://www.infrastructure.gov.au/transport/publications/pdf/10781_MA_DOTARS_NIMTS_Final_report_13020_Final.pdf

Niérat, P. (1997). Market area of rail-truck terminals: pertinence of the spatial theory. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(2), 109 – 127.

OECD (1992). Advanced logistics and road freight transport. *Report of an OECD scientific expert group*, Organisation for Economic Co-operating and Development.

Portek, 2000. Maintenance outsourcing a new trend? Opgevraagd op 3 april, 2011 via http://www.portek.com/publications/Maintenance_Outourcing_New_Trend.pdf

Portstrategy, 2005. What price a reachstacker? Opgevraagd op 3 april, 2011 via http://www.portstrategy.com/features101/port-operations/cargo-handling/reachstackers-vs-straddle-carriers/what_price_a_reachstacker.

Rizzoli, A.E., Fornara, N., Gambardella, L.M. (2002). A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. *Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 59, 57 – 71.

Sociaal-Economische Raad van Vlaanderen (1993). Rapport van de Sectoriële Commissie Goederenvervoer: Brussel.

Vis, I.F.A., de Koster, R. (2003). Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*, 147, 1 – 16.

Vis, I.F.A. (2006). A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal. *International Journal of Production Economics*, 103, 680 – 693.

UIRR (z.d.). CT Offers. Opgevraagd op 4 januari, 2011 via <http://www.uirr.com/en/road-rail-ct/ct-offers.html>.

Young, B. (2010). To spend or mend. Opgevraagd op 3 april, 2011 via http://www.portek.com/publications/CS_March_and_April_2010_To_spend_or_mend.pdf

Bijlagen

Bijlage 1: Het model van Bottani & Rizzi (2007) om het aangetrokken volume van een terminal te bepalen.

Het model is gebaseerd op de "affinity index" [AI], die de bereidheid weergeeft om van wegtransport over te schakelen naar intermodaal spoorwegtransport. Deze index bestaat uit drie termen: één afhankelijk van de totale afstand [d], één afhankelijk van de tijd van het begin- en/of eindpunt tot aan de terminal(s) [t] en één afhankelijk van de geschiktheid van de goederen om in containers getransporteerd te worden [g]. In de eerste term wordt de bereidheid om over te schakelen ten gevolge van de afstand vermenigvuldigd met het gewicht dat aan de afstand wordt toegekend (tussen 0 en 1). De andere twee termen zijn analoog. Er is geen bereidheid tot overschakelen in het algemeen (AI) wanneer er geen bereidheid tot overschakelen is ten gevolge van de afstand omdat deze parameter de grootste invloed heeft op de economische competitiviteit van intermodaal transport. Deze verbanden zijn waar te nemen in vergelijking (1).

$$AI = \begin{cases} C_d w_d + C_t w_t + C_g w_g & \text{als } C_d > 0 \\ 0 & \text{als } C_d = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Deze affinity index wordt voor iedere goederenstroom [i] apart berekend. Het aangetrokken volume van deze goederenstroom [V_i^*] kan dan berekend worden door de affinity index te vermenigvuldigen met het totale volume dat gegenereerd kan worden uit goederenstroom i (vergelijking (2)).

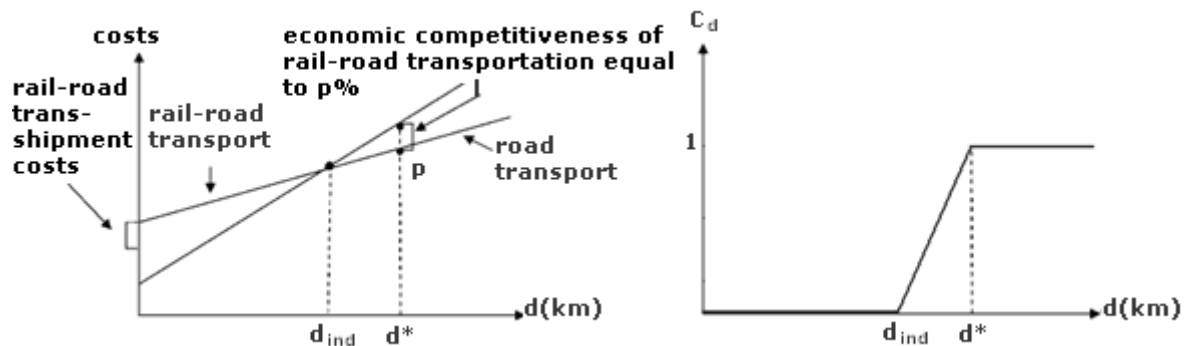
$$V_i^* = V^i \cdot AI_i \quad (2)$$

Het totaal aangetrokken volume, van alle goederenstromen samen, bekomt men door het aangetrokken volume van de aparte goederenstromen op te tellen (vergelijking (3)).

$$V^* = \sum V_i^* \quad (3)$$

De parameter voor de bereidheid tot overschakelen ten gevolge van de afstand [C_d] is afhankelijk van de kostenstructuur van het weg- en intermodaal transport. Hierin zijn twee punten belangrijk, namelijk het indifferentiepunt d_{ind} en d^* waarbij het economisch voordeel van intermodaal transport $p\%$ voordeliger is dan voor het wegtransport. De waarde voor p moet door een expert bepaald worden, maar daarna kunnen d_{ind} en d^* bepaald worden aan de hand van kostengegevens. Voor een afstand kleiner dan het indifferentiepunt is de bereidheid om over te schakelen naar intermodaal transport nul. Wanneer de af te leggen afstand groter is dan d^* is de bereidheid om over te schakelen één. Voor een afstand die tussen d_{ind} en d^* ligt, is de bereidheid om over te schakelen lineair tussen 0 en 1. Deze verbanden zijn in formules gegoten in vergelijking (4) en zijn eveneens grafisch waar te nemen in Figuur 21.

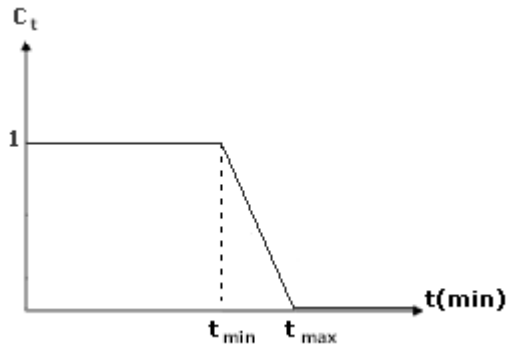
$$C_d = \begin{cases} 0 & d < d_{ind} \\ \frac{d - d_{ind}}{d^* - d_{ind}} & \text{als } d_{ind} < d < d^* \\ 1 & d > d^* \end{cases} \quad (4)$$



Figuur 21: Kostenstructuur voor weg- en intermodaal transport, C_d (Bron: Bottani & Rizzi, 2007).

De parameter voor de bereidheid tot overschakelen ten gevolge van de tijd die nodig is om van het begin- en/of eindpunt tot aan de terminal(s) te geraken [C_t], is ook afhankelijk van twee punten, namelijk een maximale tijd [t_{max}] en een minimale tijd [t_{min}]. Wanneer de tijd kleiner is dan de minimale tijd is de bereidheid tot overschakelen gelijk aan één. Wanneer de tijd echter groter is dan de maximale tijd, dan is de bereidheid tot overschakelen nul. Voor alle waarden tussen t_{min} en t_{max} is de bereidheid tot overschakelen lineair tussen 0 en 1. De waarden voor t_{min} en t_{max} moeten bepaald worden door experts. Dit wordt weergegeven in vergelijking (5) en in Figuur 22.

$$C_t = \begin{cases} 1 & t < t_{\min} \\ \frac{t_{\max} - t}{t_{\max} - t_{\min}} & \text{als } t_{\min} < t < t_{\max} \\ 0 & t > t_{\max} \end{cases} \quad (5)$$



Figuur 22: C_t , de bereidheid tot overschakelen t.g.v. tijd.

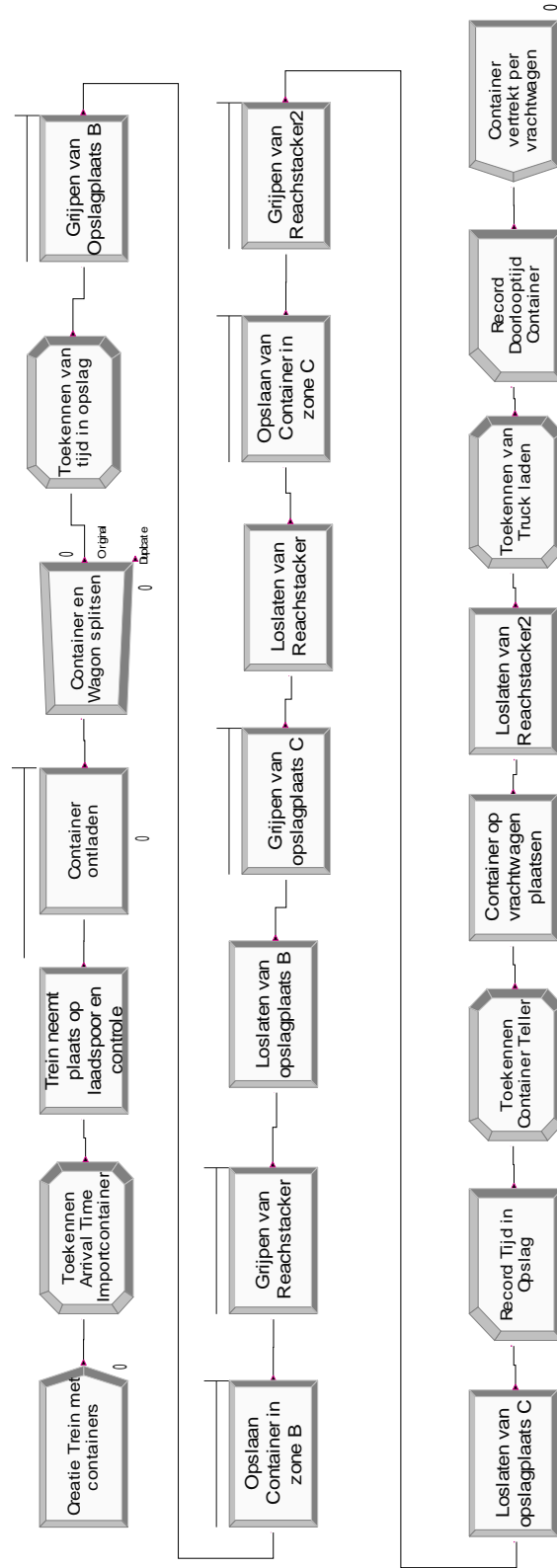
De laatste parameter is de bereidheid tot overschakelen naar intermodaal transport ten gevolge van de geschiktheid van de goederen om in een container getransporteerd te worden. Deze parameter is volledig afhankelijk van meningen van experts. Iedere expert geeft een waarde voor de geschiktheid van de goederen tussen 0 en 1 [a_i]. De waarden van alle experts worden dan opgeteld en gedeeld door het aantal experts [n] om zo een gemiddelde waarde te bekomen (vergelijking (6)).

$$C_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (6)$$

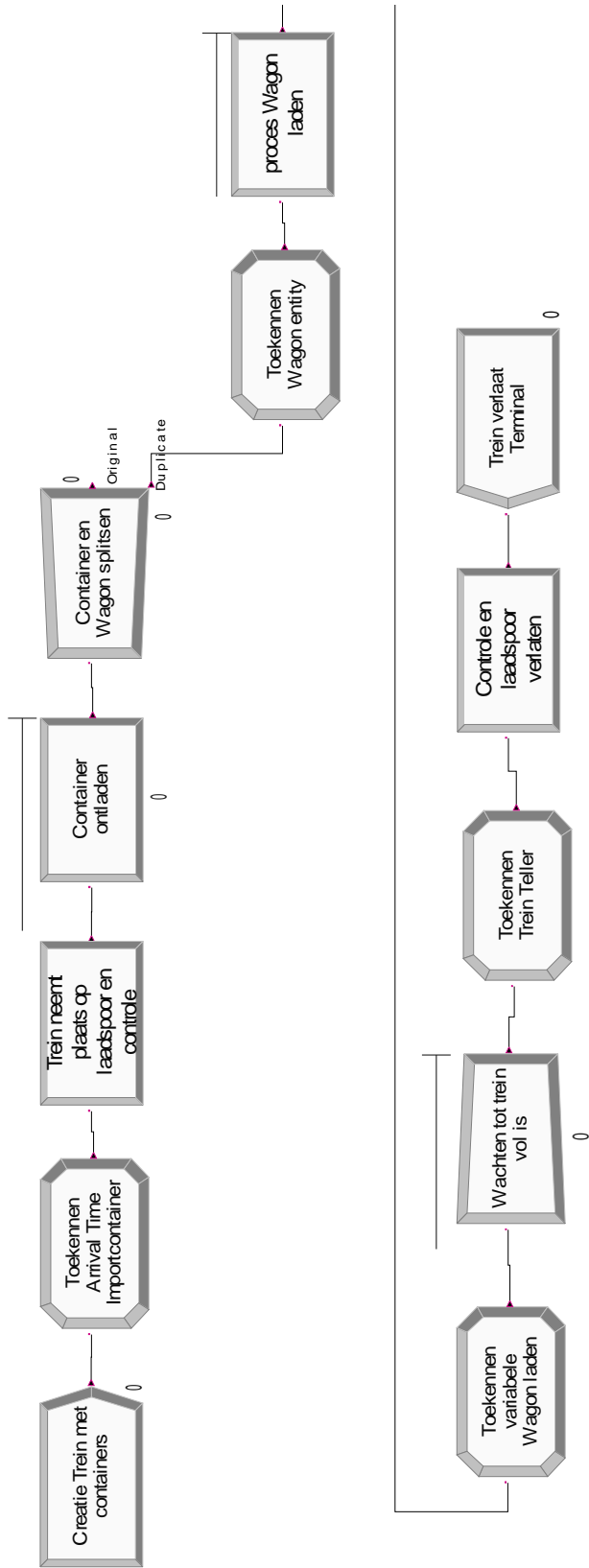
De gewichten voor de afstand, tijd en goederen [w_d , w_t , w_g] worden bepaald door de methode van Analytic Hierarchy Process [AHP] toe te passen. Dit wil zeggen dat verschillende experts gevraagd worden om het belang van iedere parameter ten opzichte van de andere parameters in te schatten. Daarna zal er een gemiddeld gewicht berekend worden voor iedere parameter aan de hand van deze opinies.

Bijlage 2: Simulatiemodel in 'Rockwell Arena 11.0'

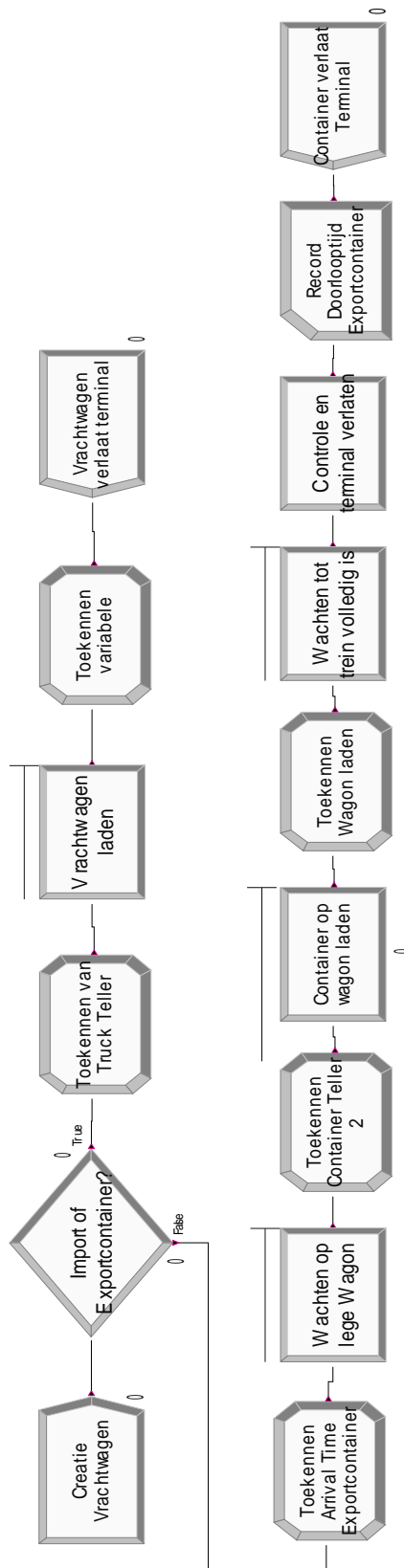
Importcontainers



Wagons

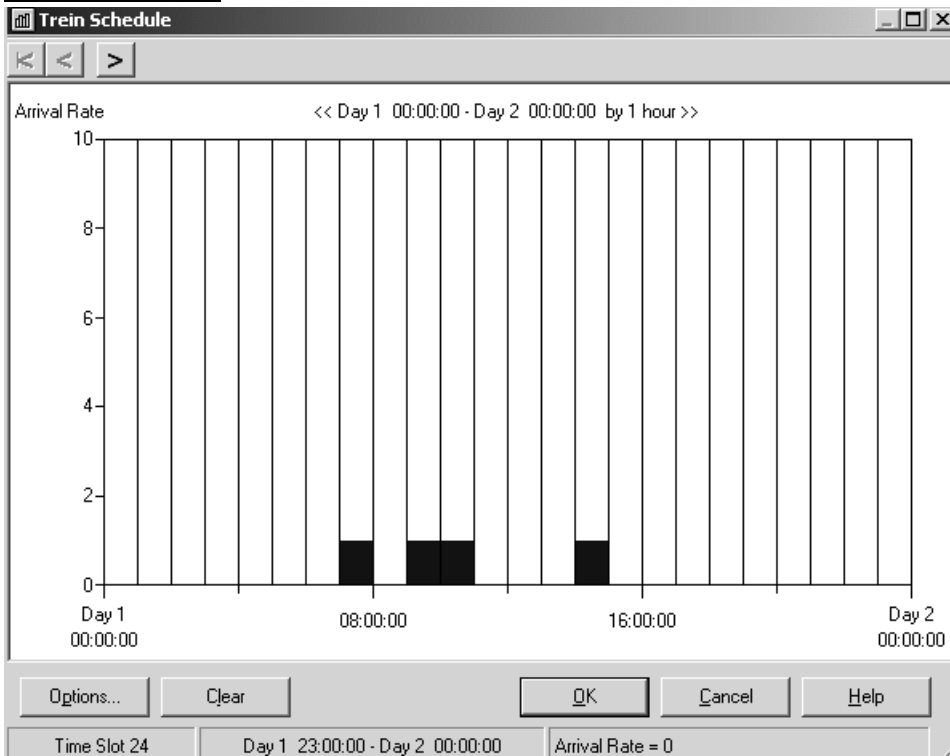


Vrachtwagens en exportcontainers

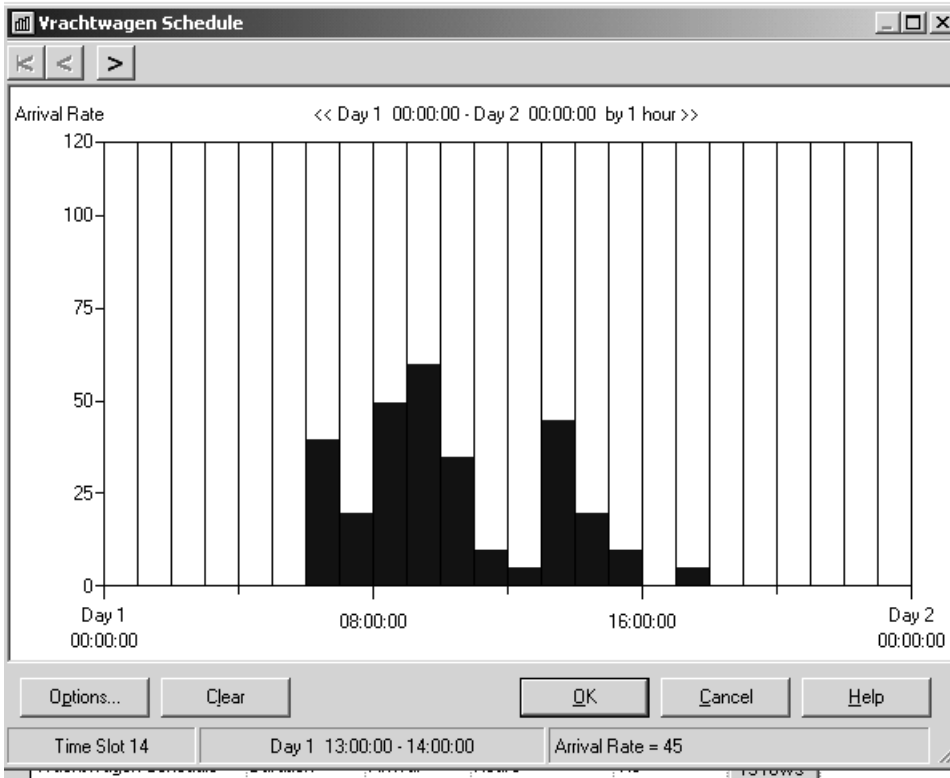


Bijlage 3: Inputgegevens van de simulatie

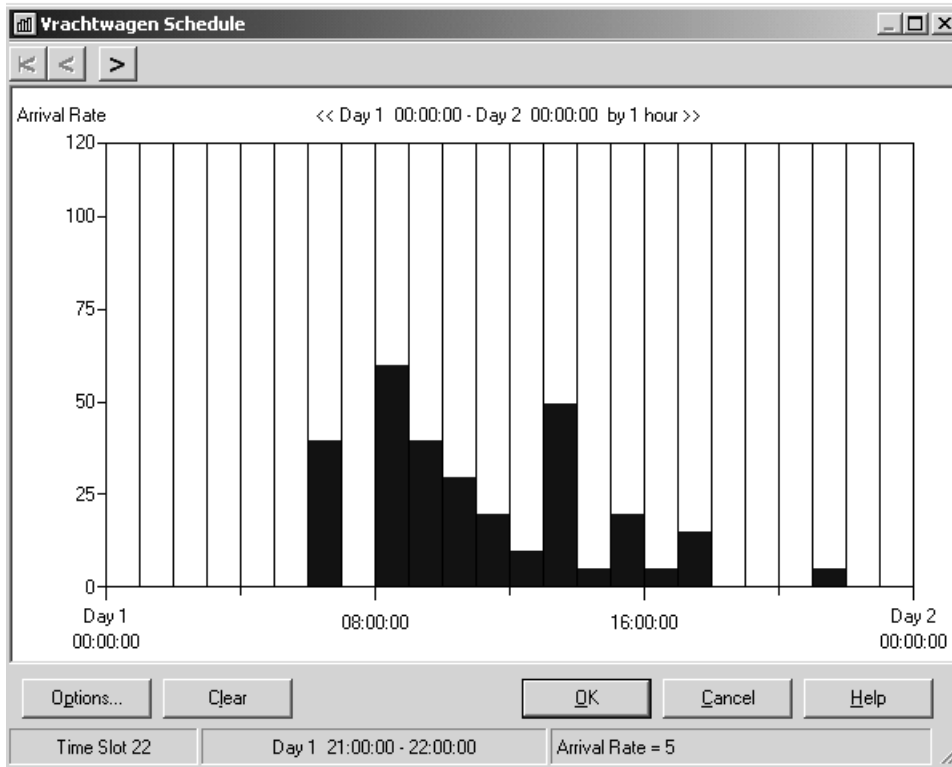
Trein schedule A



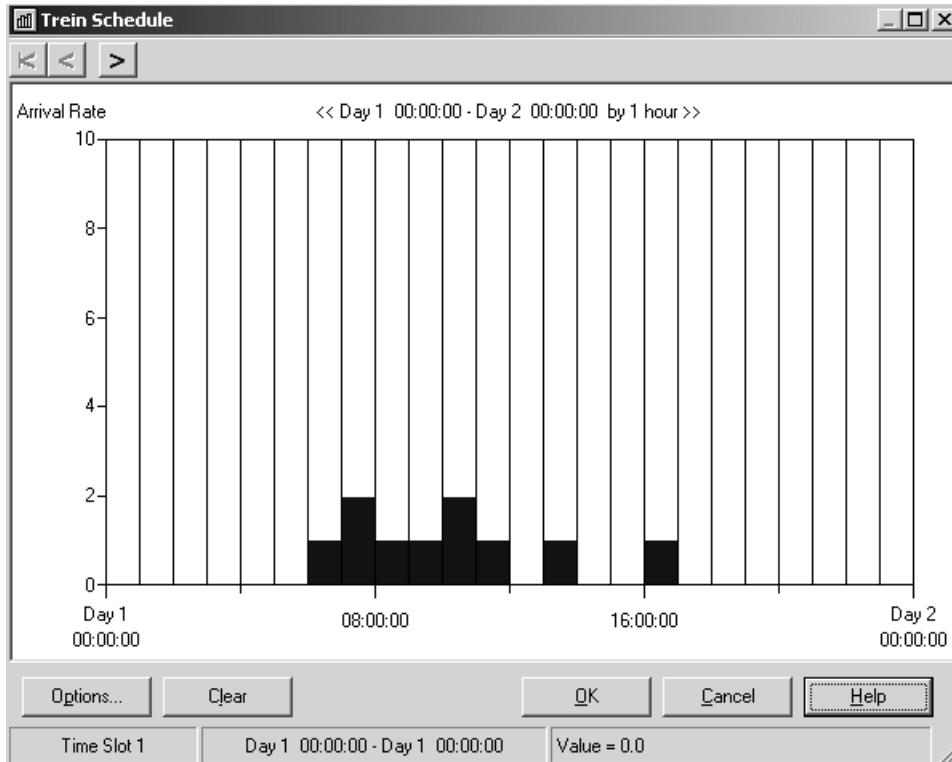
Vrachtwagen schedule A.1



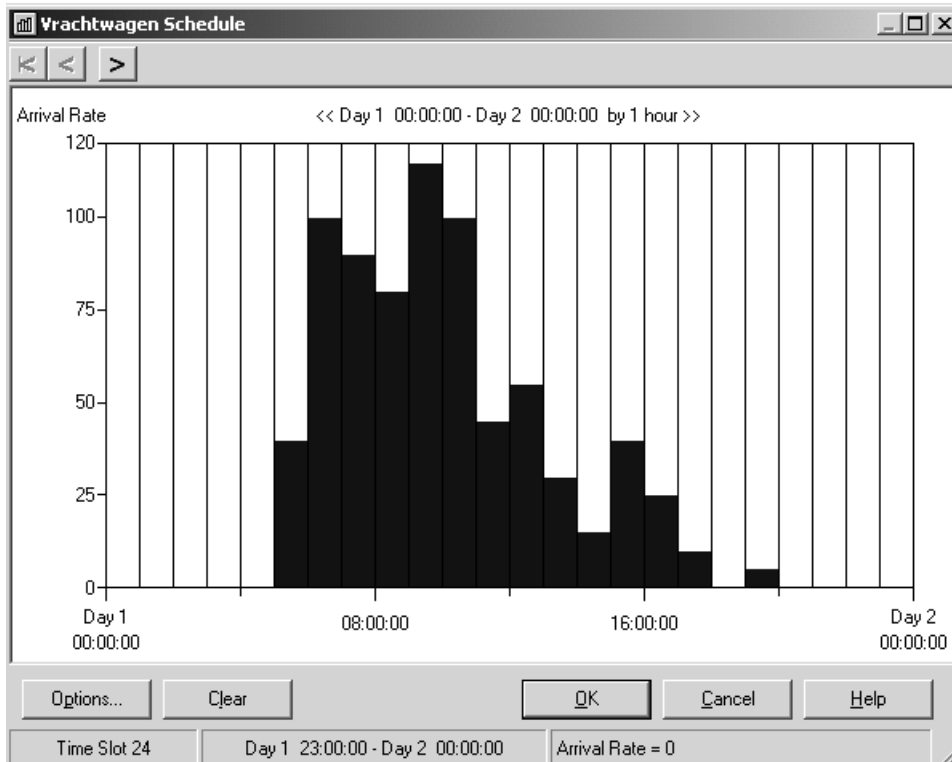
Vrachtwagen schedule A.2



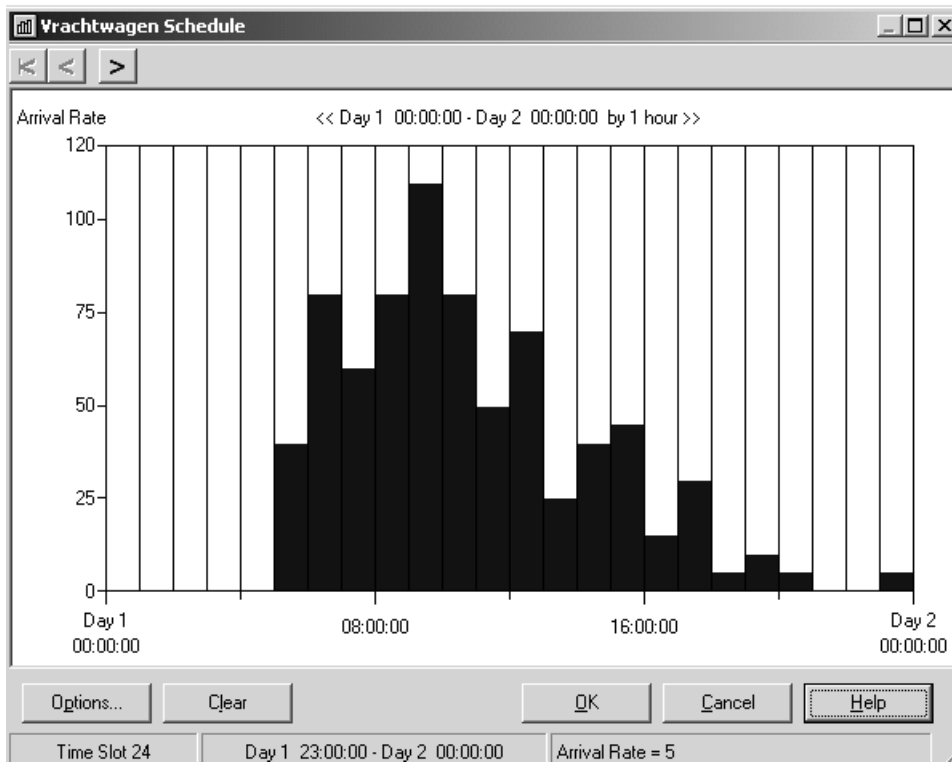
Trein schedule B



Vrachtwagen schedule B.1



Vrachtwagen schedule B.2



Bijlage 4: Hoofd- en interactive-effecten van het factorieel ontwerp.

Hoofdeffecten: replicatie 1 – 5

	1	2	3	4	5
Hoofdeffect Volume					
Benutting reachstackers	0,2176	0,2020	0,1980	0,2231	0,1788
Benutting brugkranen	0,2063	0,2243	0,2261	0,2204	0,1808
Doorlooptijd export	0,0085	0,3107	0,2128	-0,1045	0,2092
Doorlooptijd import	0,3696	1,0280	0,2909	0,3184	1,5993
Winst per jaar	2.118.821,2	2.184.274,4	2.205.691,1	2.260.784,3	1.915.675,0
Hoofdeffect # reachstackers					
Benutting reachstackers	-0,1434	-0,1817	-0,1684	-0,1830	-0,1515
Benutting brugkranen	0,0314	-0,0042	-0,0169	-0,0081	-0,0054
Doorlooptijd export	0,2425	-0,4135	-0,2614	-0,1106	-0,0917
Doorlooptijd import	-0,1768	-0,9050	-0,3492	-0,2627	-0,7807
Winst per jaar	-208.049,3	-343.115,5	-345.095,0	-343.475,9	-189.765,1
Hoofdeffect # brugkranen					
Benutting reachstackers	0,0132	-0,0231	0,0058	-0,0199	0,0293
Benutting brugkranen	-0,1667	-0,1807	-0,1858	-0,1769	-0,1345
Doorlooptijd export	-1,0215	-0,9612	-1,7035	-1,4577	-0,8950
Doorlooptijd import	-0,2116	-0,1295	-1,0577	-0,3882	-0,1937
Winst per jaar	-469.842,6	-411.763,2	187.478,3	-474.811,2	-117.377,0
Hoofdeffect Aankomstratio vrachtwagens					
Benutting reachstackers	-0,0047	-0,0251	0,0066	-0,0304	-0,0513
Benutting brugkranen	0,0002	-0,0095	0,0063	-0,0202	-0,0221
Doorlooptijd export	0,2128	-0,0571	0,4595	-0,3208	-0,4068
Doorlooptijd import	-0,0051	-0,2492	0,4824	-0,1125	-0,4955
Winst per jaar	3.916,2	-93.271,6	-89.536,7	-109.127,5	-280.929,7

Hoofdeffecten: replicatie 6 – 10

	6	7	8	9	10
	Hoofdeffect Volume				
Benutting reachstackers	0,2271	0,2213	0,1632	0,2098	0,2058
Benutting brugkranen	0,2307	0,2291	0,1860	0,2306	0,2249
Doorlooptijd export	0,0795	0,6217	0,3357	-0,9166	1,0393
Doorlooptijd import	1,2027	0,3497	-0,3308	0,9042	1,0391
Winst per jaar	2.299.186,2	2.239.060,3	2.003.648,0	2.129.474,3	2.149.756,3
	Hoofdeffect # reachstackers				
Benutting reachstackers	-0,1539	-0,1694	-0,1461	-0,1436	-0,1712
Benutting brugkranen	0,0039	-0,0039	-0,0068	-0,0059	0,0134
Doorlooptijd export	0,0351	-0,0873	0,5043	-0,5235	0,1053
Doorlooptijd import	-0,5446	-0,9255	-0,4258	-0,9080	-0,7837
Winst per jaar	-321.331,7	-235.294,3	-252.710,3	-183.850,9	-217.929,1
	Hoofdeffect # brugkranen				
Benutting reachstackers	0,0059	-0,0304	0,0525	-0,0017	-0,0254
Benutting brugkranen	-0,1599	-0,1781	-0,1354	-0,1671	-0,1981
Doorlooptijd export	-1,4055	-1,5383	-1,2266	-0,9569	-1,6311
Doorlooptijd import	-0,5371	-1,1418	0,0715	-0,8341	-1,1128
Winst per jaar	-346.006,2	-454.743,3	33.103,4	-389.945,4	-554.256,0
	Hoofdeffect Aankomstratio vrachtwagens				
Benutting reachstackers	0,0014	-0,0054	-0,0018	-0,0151	0,0226
Benutting brugkranen	0,0185	0,0065	-0,0218	-0,0108	0,0003
Doorlooptijd export	0,1896	0,0567	-0,0022	0,6454	-0,2199
Doorlooptijd import	0,4223	0,6803	-0,5145	-0,3383	0,4674
Winst per jaar	30.498,1	-25.455,8	-108.925,9	-149.741,4	72.283,1

Interactie-effecten met 2 variabelen: replicatie 1 – 5

Replicatie:	1	2	3	4	5
Interactie Volume en # reachstackers					
Benutting Reachstackers	-0,096	-0,070	-0,072	-0,082	-0,078
Benutting Brugkranen	-0,003	-0,003	-0,010	-0,002	-0,009
Doorlooptijd Export	-0,057	-0,330	-0,130	0,413	0,007
Doorlooptijd Import	-0,872	-0,815	-0,640	-0,393	-0,587
Winst per jaar	-120.776,4	-54.755,3	25.185,1	2.026,2	-17.305,2
Interactie Volume en # brugkranen					
Benutting Reachstackers	0,018	-0,015	0,009	-0,013	0,014
Benutting Brugkranen	-0,067	-0,085	-0,079	-0,073	-0,040
Doorlooptijd Export	-0,744	-0,692	-1,011	-0,548	-0,677
Doorlooptijd Import	-0,228	-0,256	-0,185	-0,575	-0,111
Winst per jaar	-14.308,9	-112.760,0	26.259,5	43.589,8	152.698,2
Interactie Volume en Aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	-0,044	-0,025	0,017	-0,044	-0,057
Benutting Brugkranen	-0,021	-0,011	0,003	-0,026	-0,038
Doorlooptijd Export	-0,072	0,024	-0,113	-0,542	-0,449
Doorlooptijd Import	-0,349	-0,098	0,034	-0,811	-0,410
Winst per jaar	-163.779,1	-45.121,3	143.255,1	-123.975,5	-310.282,7
Interactie # reachstackers en # brugkranen					
Benutting Reachstackers	-0,031	0,010	0,003	0,013	0,032
Benutting Brugkranen	-0,038	0,005	0,018	0,010	0,037
Doorlooptijd Export	-0,398	0,365	0,074	-0,133	0,348
Doorlooptijd Import	-0,766	-0,311	0,032	-0,794	-0,187
Winst per jaar	-277.299,7	-31.025,9	53.912,3	100.709,2	342.008,9
Interactie # reachstackers en aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	0,031	0,022	0,011	0,002	0,047
Benutting Brugkranen	0,014	0,000	0,024	-0,006	0,014
Doorlooptijd Export	0,557	-0,183	0,287	-0,397	0,168
Doorlooptijd Import	0,854	0,343	0,328	0,034	0,882
Winst per jaar	62.485,4	68.177,3	-23.859,5	-158.738,0	216.428,8
Interactie # brugkranen en aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	0,029	-0,013	0,015	-0,012	-0,020
Benutting Brugkranen	0,014	-0,002	-0,008	0,009	0,006
Doorlooptijd Export	0,064	0,030	-0,368	0,376	0,179
Doorlooptijd Import	-0,072	0,009	-0,163	0,460	-0,180
Winst per jaar	115.377,2	-43.816,3	-32.020,4	34.081,3	-89.520,3

Interactie-effecten met 2 variabelen: replicatie 6 – 10

Replicatie:	6	7	8	9	10
Interactie Volume en # reachstackers					
Benutting Reachstackers	-0,078	-0,065	-0,044	-0,062	-0,087
Benutting Brugkranen	0,004	-0,006	-0,001	0,004	0,006
Doorlooptijd Export	0,033	-0,460	0,358	-0,317	0,139
Doorlooptijd Import	-0,489	-0,081	-0,113	-0,426	-0,412
Winst per jaar	-52.532,1	-123.491,5	46.640,9	41.181,6	-54.468,2
Interactie Volume en # brugkranen					
Benutting Reachstackers	-0,035	-0,002	0,036	-0,009	-0,019
Benutting Brugkranen	-0,097	-0,073	-0,031	-0,091	-0,089
Doorlooptijd Export	-1,048	-1,768	-1,041	-1,864	-1,518
Doorlooptijd Import	-0,697	-1,107	-0,559	-0,522	-0,980
Winst per jaar	-281.462,6	-104.214,9	384.530,5	-173.366,9	-153.100,7
Interactie Volume en Aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	-0,036	-0,007	0,000	0,024	0,020
Benutting Brugkranen	-0,005	-0,006	-0,030	0,027	0,011
Doorlooptijd Export	0,434	-0,159	-0,309	-0,476	-0,019
Doorlooptijd Import	-0,006	-0,741	0,030	0,653	-0,030
Winst per jaar	-173.783,6	-35.485,2	-110.220,3	189.511,3	114.444,8
Interactie # reachstackers en # brugkranen					
Benutting Reachstackers	0,011	0,015	-0,027	-0,019	0,016
Benutting Brugkranen	0,010	0,001	0,006	-0,001	-0,004
Doorlooptijd Export	-0,103	0,764	-0,407	0,363	0,135
Doorlooptijd Import	-0,042	0,670	-0,347	-0,141	0,194
Winst per jaar	104.778,7	-108.479,5	9.925,6	-92.745,3	14.422,2
Interactie # reachstackers en aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	0,006	0,013	-0,028	0,025	-0,036
Benutting Brugkranen	0,006	0,002	-0,033	-0,008	-0,010
Doorlooptijd Export	0,349	0,332	0,156	0,116	-0,091
Doorlooptijd Import	0,515	0,386	-0,090	0,229	-0,679
Winst per jaar	-12.724,9	60.242,9	-210.058,1	47.066,3	-82.874,8
Interactie # brugkranen en aankomstratio vrachtwagens					
Benutting Reachstackers	-0,046	0,003	0,020	-0,038	0,018
Benutting Brugkranen	-0,025	-0,002	0,026	-0,001	0,007
Doorlooptijd Export	-0,198	0,493	0,035	1,081	0,322
Doorlooptijd Import	-0,430	0,473	0,771	-0,364	0,375
Winst per jaar	-330.537,9	-62.040,2	196.800,8	-72.288,8	34.400,9

Interactie-effecten met 3 variabelen: replicatie 1 – 5

Replicatie:	1	2	3	4	5
	Interactie Volume, # reachstackers en # brugkranen				
Benutting Reachstackers	-0,0241	0,0034	0,0001	0,0128	0,0300
Benutting Brugkranen	-0,0229	0,0105	0,0097	0,0088	0,0258
Doorlooptijd Export	0,1110	0,2184	0,2499	-0,3344	0,2214
Doorlooptijd Import	-0,2813	-0,0678	-0,1371	-0,0874	-0,0592
Winst per jaar	-263.848,0	29.646,6	47.907,3	-10.827,1	316.530,6
	Interactie Volume, # reachstackers en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	0,0703	0,0272	0,0104	0,0002	0,0398
Benutting Brugkranen	-0,0320	-0,0673	-0,0598	-0,0696	-0,0515
Doorlooptijd Export	0,9472	0,8863	1,2142	0,5983	1,0512
Doorlooptijd Import	0,9702	0,4354	0,1205	-0,0702	0,7590
Winst per jaar	248.249,9	-29.172,5	-13.762,7	-119.080,2	127.643,5
	Interactie Volume, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	0,0277	-0,0106	0,0173	-0,0058	0,0228
Benutting Brugkranen	0,0294	-0,0004	-0,0028	0,0099	0,0267
Doorlooptijd Export	-0,0759	0,2213	0,0042	0,4369	0,0308
Doorlooptijd Import	-0,1748	-0,2485	0,3711	0,1187	-0,1241
Winst per jaar	186.645,2	-3.265,8	-60.784,5	47.115,7	67.711,2
	Interactie # reachstackers, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	-0,0037	0,0240	-0,0263	0,0329	0,0313
Benutting Brugkranen	0,0035	0,0198	-0,0166	0,0041	0,0099
Doorlooptijd Export	-0,4374	-0,1850	0,0111	0,4084	0,0245
Doorlooptijd Import	-0,4845	0,4945	-0,3196	0,3647	0,4364
Winst per jaar	-1.245,6	148.965,6	-188.976,9	15.272,4	137.492,8

Interactie-effecten met 3 variabelen: replicatie 6 – 10

Replicatie:	6	7	8	9	10
	Interactie Volume, # reachstackers en # brugkranen				
Benutting Reachstackers	0,0222	-0,0050	-0,0107	-0,0173	0,0050
Benutting Brugkranen	0,0049	0,0101	0,0011	-0,0133	0,0015
Doorlooptijd Export	0,2367	0,0408	-0,3587	0,1049	-0,0307
Doorlooptijd Import	-0,0822	-0,0720	-0,5572	0,1135	-0,7130
Winst per jaar	108.891,1	-179.441,6	39.283,3	-129.502,4	21.856,4
	Interactie Volume, # reachstackers en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	0,0218	0,0130	-0,0430	-0,0186	-0,0311
Benutting Brugkranen	-0,0509	-0,0768	-0,1019	-0,0856	-0,0659
Doorlooptijd Export	1,3585	1,2759	0,6824	1,5230	1,3031
Doorlooptijd Import	0,5510	-0,0561	-0,7581	-0,1556	-0,1536
Winst per jaar	-15.660,3	-78.034,0	-230.554,2	-103.236,0	-171.682,4
	Interactie Volume, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	-0,0012	-0,0096	0,0202	-0,0467	0,0108
Benutting Brugkranen	-0,0011	-0,0017	0,0265	-0,0420	-0,0023
Doorlooptijd Export	-0,4548	-0,1019	0,3287	-1,6967	0,3697
Doorlooptijd Import	-0,1211	-0,2742	0,6725	-0,6246	0,3056
Winst per jaar	-102.053,4	-92.422,0	192.188,1	-319.284,8	99.377,3
	Interactie # reachstackers, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	0,0165	0,0072	0,0259	0,0613	-0,0301
Benutting Brugkranen	0,0039	0,0068	0,0377	0,0314	-0,0139
Doorlooptijd Export	-0,4468	0,2370	-0,1150	0,2057	0,1533
Doorlooptijd Import	0,2453	-0,1339	0,1282	0,5738	-0,2549
Winst per jaar	19.320,9	75.058,7	266.739,1	367.647,2	-104.300,4

Interactie-effect met 4 variabelen: replicatie 1 – 5

Replicatie:	1	2	3	4	5
	Interactie Volume, # reachstackers, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	-0,0010	0,0224	-0,0259	0,0118	0,0064
Benutting Brugkranen	-0,0009	0,0169	-0,0090	0,0008	0,0044
Doorlooptijd Export	-0,1340	0,3813	0,0047	0,1613	0,2032
Doorlooptijd Import	0,0317	0,7775	-0,4186	0,2363	0,3018
Winst per jaar	-53.266,5	-9.688,0	-97.875,4	-70.924,2	87.121,4

Interactie-effect met 4 variabelen: replicatie 6 – 10

Replicatie:	6	7	8	9	10
	Interactie Volume, # reachstackers, # brugkranen en aankomstratio				
Benutting Reachstackers	0,0136	0,0108	0,0198	0,0501	-0,0316
Benutting Brugkranen	0,0002	0,0010	0,0361	0,0362	-0,0112
Doorlooptijd Export	0,1991	0,1203	0,3737	0,6530	0,2242
Doorlooptijd Import	0,2698	-0,1913	-0,1026	0,2807	-0,6624
Winst per jaar	-16.922,2	-15.665,4	282.297,1	245.922,7	-112.132,2

Bijlage 5: De berekening van de interpretatiewaarden.

Interpretatiewaarden voor de benutting van de brugkranen

Effect (1)	$m = 0,215$	
Effect (2)	$m = 0,002$	
Effect (3)	$m = -0,17$	
Effect (4)	$m = -0,005$	
Effect (1-3)	$m = -0,075$	
Effect (1-2-4)	$m = -0,065$	
V = 1, B = 1	$1 \times 0,215 + 1 \times -0,17 + 1 \times 1 \times -0,075$	-0,03
V = 1, B = -1	$1 \times 0,215 + -1 \times -0,17 + 1 \times -1 \times -0,075$	0,46
V = -1, B = 1	$-1 \times 0,215 + 1 \times -0,17 + -1 \times 1 \times -0,075$	-0,31
V = -1, B = -1	$-1 \times 0,215 + -1 \times -0,17 + -1 \times -1 \times -0,075$	-0,12
V = 1, R = 1, A = 1	$1 \times 0,215 + 1 \times 0,002 + 1 \times -0,005 + 1 \times 1 \times 1 \times -0,065$	0,147
V = 1, R = 1, A = -1	$1 \times 0,215 + 1 \times 0,002 + -1 \times -0,005 + 1 \times 1 \times -1 \times -0,065$	0,287
V = 1, R = -1, A = 1	$1 \times 0,215 + -1 \times 0,002 + 1 \times -0,005 + 1 \times -1 \times 1 \times -0,065$	0,273
V = 1, R = -1, A = -1	$1 \times 0,215 + -1 \times 0,002 + -1 \times -0,005 + 1 \times -1 \times -1 \times -0,065$	0,153
V = -1, R = 1, A = 1	$-1 \times 0,215 + 1 \times 0,002 + 1 \times -0,005 + -1 \times 1 \times 1 \times -0,065$	-0,153
V = -1, R = 1, A = -1	$-1 \times 0,215 + 1 \times 0,002 + -1 \times -0,005 + -1 \times 1 \times -1 \times -0,065$	-0,273
V = -1, R = -1, A = 1	$-1 \times 0,215 + -1 \times 0,002 + 1 \times -0,005 + -1 \times -1 \times 1 \times -0,065$	-0,287
V = -1, R = -1, A = -1	$-1 \times 0,215 + -1 \times 0,002 + -1 \times -0,005 + -1 \times -1 \times -1 \times -0,065$	-0,147

Interpretatiewaarden voor de doorlooptijd van exportcontainers

Effect (1)	$m = 0,18$	
Effect (2)	$m = -0,06$	
Effect (3)	$m = -1,28$	
Effect (4)	$m = 0,06$	
Effect (1-3)	$m = -1,09$	
Effect (1-2-4)	$m = 1,085$	
$V = 1, B = 1$	$1 \times 0,18 + 1 \times -1,28 + 1 \times 1 \times -1,09$	-2,19
$V = 1, B = -1$	$1 \times 0,18 + -1 \times -1,28 + 1 \times -1 \times -1,09$	2,55
$V = -1, B = 1$	$-1 \times 0,18 + 1 \times -1,28 + -1 \times 1 \times -1,09$	-0,37
$V = -1, B = -1$	$-1 \times 0,18 + -1 \times -1,28 + -1 \times -1 \times -1,09$	0,01
$V = 1, R = 1, A = 1$	$1 \times 0,18 + 1 \times -0,06 + 1 \times 0,06 + 1 \times 1 \times 1 \times -1,085$	1,265
$V = 1, R = 1, A = -1$	$1 \times 0,18 + 1 \times -0,06 + -1 \times 0,06 + 1 \times 1 \times -1 \times -1,085$	-1,025
$V = 1, R = -1, A = 1$	$1 \times 0,18 + -1 \times -0,06 + 1 \times 0,06 + 1 \times -1 \times 1 \times -1,085$	-0,785
$V = 1, R = -1, A = -1$	$1 \times 0,18 + -1 \times -0,06 + -1 \times 0,06 + 1 \times -1 \times -1 \times -1,085$	1,265
$V = -1, R = 1, A = 1$	$-1 \times 0,18 + 1 \times -0,06 + 1 \times 0,06 + -1 \times 1 \times 1 \times -1,085$	-1,265
$V = -1, R = 1, A = -1$	$-1 \times 0,18 + 1 \times -0,06 + -1 \times 0,06 + -1 \times 1 \times -1 \times -1,085$	0,785
$V = -1, R = -1, A = 1$	$-1 \times 0,18 + -1 \times -0,06 + 1 \times 0,06 + -1 \times -1 \times 1 \times -1,085$	1,025
$V = -1, R = -1, A = -1$	$-1 \times 0,18 + -1 \times -0,06 + -1 \times 0,06 + -1 \times -1 \times -1 \times -1,085$	-1,265

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Analyse van de werking van intermodale terminals

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

Jaar: **2011**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Gorissen, Leen

Datum: **1/06/2011**