

**Modellering van rail-rail overslag:
Een analyse van conventionele en nieuwe generatie terminals**

Y.M Bontekoning, TU Delft, Onderzoeksinstituut OTB, Postbus 5030, 2600 GA Delft, Tel.
+31 15 278 3005, Fax. +31 15 278 3450, y.bontekoning@tudelft.nl

Bart W. Wiegman, TU Delft, Onderzoeksinstituut OTB, Postbus 5030, 2600 GA Delft, Tel.
+31 15 278 3005, Fax. +31 15 278 3450, b.wiegman@tudelft.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
20 en 21 november 2008, Santpoort**

Samenvatting

Modellering van rail-rail overslag: Een analyse van conventionele en nieuwe generatie terminals

Hub-en-spoke netwerken in intermodaal railgoederenvervoer worden voorgesteld als potentiële oplossingen om het intermodale marktaandeel te verhogen. In Europa waren drie intermodale hub-en-spoke netwerken operationeel in de jaren '90. De treinen worden 'uit elkaar gehaald' en weer in nieuwe samenstellingen opgebouwd of de laadeenheden worden overgeslagen in de hubs in de hub-en-spoke netwerken. Het opnieuw samenstellen van treinen en ook overslag zijn vrij kostbaar en beperkt daardoor de voordelen van de hub-en-spoke netwerken. Een nieuw type terminal speciaal ontworpen voor hubs in en hub-and-spoke netwerken is voorgesteld als alternatieve oplossing. Bij deze terminals worden de gestandaardiseerde laadeenheden efficiënt overgeslagen van de ene trein op de andere. Verkennende evaluatiestudies leiden tot de verwachting dat deze nieuwe terminals - in bepaalde omstandigheden - efficiënter zouden kunnen opereren dan conventionele terminals. Wij weten nog zeer weinig over de overslagoperaties van nieuwe-generatie terminals en de verschillen met conventionele terminals. Het doel van ons onderzoek is een grondig inzicht te verkrijgen in de operaties en prestaties van verschillende overslagfaciliteiten te vergelijken. Om dit doel te bereiken zijn dynamische simulatiemodellen gebouwd in ARENA. De typische eigenschappen van, en prestatieverschillen tussen conventionele weg-rail terminals en shunting yards en nieuwe-generatie terminals worden in deze bijdrage geanalyseerd.

1. Inleiding

Intermodaal vrachtvervoer kan worden gedefinieerd als het transport van goederen in één en zelfde laadeenheid daarbij gebruikmakend van opeenvolgende vervoerwijzen zonder de goederen zelf te behandelen tijdens het veranderen van transportwijze (Europese Conferentie van Ministers van Vervoer, 1997). Aangezien intermodaal vervoer reeds een sterke positie in meer traditionele markten heeft, is verdere groei van het marktaandeel in deze marktsegmenten moeilijk (Wiegmans et al., 2007). Intermodale operators en railgoederenvervoerders richten zich op deze meer traditionele markten door het aanbieden van betrouwbare, tijd- en kosteneffectieve punt-punt verbindingen. Vooral de traditionele goederenvervoerders (bv. Railion, SNCF Fret) volgen deze strategie. Het groeipotentieel voor railgoederenvervoer zou kunnen liggen in de markten voor goederen op de middellange afstand (200-500 km), bederfelijke en hoogwaardige goederen, kleine verzendingen, kleine stromen en voor stromen die snelheid, betrouwbaarheid en flexibiliteit vereisen. Deze markten zijn groot terwijl het marktaandeel van intermodaal vervoer nagenoeg gelijk aan nul is (Cardebring et al., 2002; De Europese Commissie, 1998). Om deze nieuwe markten voor het railgoederenvervoer te ontwikkelen, zouden de hub-en-spoke netwerken samen met nieuwe-generatie terminals deel van de oplossing kunnen uitmaken. Studies over deze nieuwe-generatie terminals geven aanleiding tot de verwachting dat zij efficiënter kunnen presteren dan shunting yards (Alicke, 1999; Alicke, 2002; Ballis en Golias, 2002; De Europese Commissie, 1997; Meyer, 1998). Niettemin weten wij nog zeer weinig over de prestaties van de railoverslag van deze nieuwe-generatie terminals en de verschillen met de conventionele shunting yard. Daarom is het belangrijk dat de overslagoperaties van nieuwe-generatie terminals en shunting yards grondig worden onderzocht en vergeleken. Elementen van het intermodale systeem zoals voor- en natransport en weg-rail terminalactiviteiten bij de begin- en eindterminal zijn niet in het onderzoek betrokken. Dit artikel rapporteert over het onderzoek naar de operationele processen en de bijbehorende kosten, met behulp van een dynamische modelleringbenadering. De centrale onderzoeksvraag is: 'In welke omstandigheden is een nieuwe-generatie terminal efficiënter dan een conventionele terminal? Vergeleken met vorige studies zijn de nieuwe aspecten van dit artikel driedig. Ten eerste proberen wij studies aan te vullen over hub-en-spoke netwerken in intermodaal vervoer (zie, bv., Barnhart en Ratliff, 1993; De Europese Commissie, 1997; Janic et al., 1998; Jourquin et al., 1999; Meinert et al., 1998; Newman en Yano, 2000; Southworth en Peterson, 2000). In deze netwerkstudies worden de operaties van shunting yards en nieuwe-generatie terminals behandeld als "black-box". Met onze modellen hebben wij getracht om deze "black-box" van railterminal operaties te openen door het modelleren van railterminal processen en kosten. Ten tweede probeert onze studie om strategische, tactische en operationele aspecten van de operaties van de railterminal in één model te combineren. Door deze benadering te volgen kan de interactie tussen deze aspecten worden bestudeerd. Ten derde bevatte vorige studies (Konings, 1996; Wiegmans et al., 1999) geen vergelijking van kosten. In de volgende sectie worden intermodale netwerken van het railgoederenvervoer en de operaties van de railterminal op een Europees niveau beschreven. Ten tweede zal de simulatietheorie in een theoretisch model worden beschreven en worden gebouwd. Ten derde zullen de shunting yard, de weg-rail terminal, en de nieuwe-generatie terminal op proces, tijd, en kostenprestaties worden geëvalueerd. Tot slot zullen een aantal conclusies worden getrokken.

2. Rail overslag op terminals

De trend bij intermodale operators en railgoederenvervoerders is om zich op betrouwbare en rendabele punt-punt verbindingen te concentreren. Punt-punt diensten impliceren dat alle laadeenheden die bij een beginterminal worden geladen dezelfde eindbestemming hebben (zie Figuur 1).

[Figuur 1: Een puntnetwerk versus een stervormig netwerk]

Dit concept vereist een hoog vervoervolume op specifieke routes. Dit zou betekenen dat intermodale railgoederenvervoerdiensten zich meer en meer zullen concentreren op havens, industriezones en grote steden. Voor gebieden met relatief kleinere stromen zal het moeilijk worden om geïntegreerd te blijven in het intermodale railgoederenvervoernetwerk. Om deze trend te keren is in Europa sinds begin jaren '90 de nieuwe-generatie terminal bestudeerd die specifiek voor de hubs in hub-en-spoke netwerken is ontworpen. Deze nieuwe-generatie terminals zouden relatief tijdrovende conventionele railterminals kunnen vervangen. Bij de nieuwe-generatie terminals worden de gestandaardiseerde laadeenheden (zoals containers, swap-bodies en soms semi-trailers) efficiënt overgeslagen van de ene trein op de andere. Het punt-punt vervoer impliceert dat alle laadeenheden die op een trein bij een beginterminal worden geladen dezelfde eindterminal hebben. De traditionele markten voor intermodaal vervoer op dergelijke routes zijn grote stromen over lange afstanden (bv. de stromen van en naar de zeehavens; tussen productie-installaties en depots; bulkgoederen en gevaarlijke goederen) (Cardebring et al., 2002). Ondanks deze sterke positie vertegenwoordigt intermodaal vervoer weinig meer dan 5% van het totale landgebonden transport (in ton kms) van de EU15 (Savy en Aubriot, 2005). Dit markeert de kleine omvang van deze traditionele markten als die met de totale vervoermarkt worden vergeleken. De implementatie van hub-en-spoke netwerken in intermodaal railgoederenvervoer wordt voorgesteld als één van de potentiële alternatieven die het intermodale marktaandeel zouden kunnen verhogen (Beisler, 1995; De Europese Commissie, 1997; Cardebring et al., 2002). De voorgestelde hub-en-spoke netwerken met terminaloperaties op de hubs verschillen van het traditionele systeem van railproductie (ICF stelde in het verleden twee hub-en-spoke netwerken in werking; met hubs in Metz (Frankrijk) en Herne (Duitsland). Interferry Boats exploiteerde een stervormig systeem met een hub in Muizen (België). In het traditionele railproductiesysteem heeft elke wagon een uniek „reisplan“ die de geplande opeenvolging van treinen en shunting yards van de wagon door het railwegnetwerk toont. De voorgestelde hub-en-spoke netwerken betekenen dat de treindiensten gesynchroniseerd aankomen en vertrekken om compacte terminaloperaties bij de hub mogelijk te maken. In dit artikel wordt een hub-en-spoke netwerk als volgt gedefinieerd: de treinen met laadeenheden voor diverse eindterminals komen van diverse beginterminals aan op de hub. In Figuur 1 is dat de inkomende stroom treinen. Bij de hubterminal worden de wagons (bij een shunting yard) of de laadeenheden (bij een terminal) uitgewisseld/overgeslagen tussen treinen zodat de laadeenheden voor één eindterminal op één trein worden gehegroepeerd. Daarna vertrekken de treinen naar hun eindterminal.

De uitwisseling van laadeenheden of wagons vindt tussen groepen verwante treinen plaats. Aankomst en vertrek van de treinen die tot een groep behoren zijn gesynchroniseerd binnen een bepaald tijdvenster. Voordelen die de hub-en-spoke netwerken kunnen bieden zijn: i) een hogere frequentie van de vervoerdiensten per vervoerrelatie; ii) een verhoging van het aantal vervoerrelaties (bedienen van kleine stromen); en iii) schaalvoordelen. In plaats van het verhogen van de frequentie van treinen kunnen ook langere treinen worden gebruikt resulterend in schaalvoordelen. Momenteel varieert de treinlengte in Europa tussen de 600-700 meter. Dit zou tot 1000 meter kunnen worden opgevoerd, maar de lengte wordt beperkt door de extra benodigde locomotief. De extra tijd en kosten (hub-en-spoke systemen gaan tegen de trend in om overslag te minimaliseren om kosten te minimaliseren) die door de hubterminal worden veroorzaakt doen deze voordelen (deels) teniet. Bij de hub-terminal worden wagons (bij een shunting yard) of laadeenheden (bij een terminal) uitgewisseld. Bij terminals blijven de treinen intact aangezien kranen en interne transporteenheden zorgen voor de overslag van laadeenheden. Er bestaan vier verschillende hub-terminal faciliteiten (Bontekoning, 2006):

- Vlakke shunting yards
- Shunting yards met heuvel
- Weg-rail terminals (middenterminals)
- Nieuwe generatie terminals

In de analyse wordt de vlakke shunting yard niet meegenomen vanwege zijn vrij zwakke prestaties vergeleken met de heuvel hunting yard. Dit maakt het mogelijk om de andere drie terminals meer in detail te analyseren. De nadruk van de analyse ligt op de vergelijking tussen de nieuwe generatie terminal en de conventionele terminal. Een heuvel shunting yard bevat een aankomstyard, een heuvel, een sorteer yard en een vertrek yard. Daarnaast is er een railverbinding die wordt gebruikt om locomotieven te verplaatsen. Een algemene lay-out van een heuvel shunting yard staat in Figuur 2.

[Figuur 2: Algemene lay-out van een heuvel-shunting yard]

De meeste heuvel shunting yards kennen één richting en dat betekent dat de treinen de shunting yard slechts vanuit één richting kunnen benaderen. Het aantal en de lengte van sporen kunnen in elke yard variëren afhankelijk van de vereiste capaciteit. Het heuvelgebied bestaat meestal uit één rail die naar de heuvel leidt. Een grote yard kan twee heuvels hebben. Heuvelaf zijn er geautomatiseerde schakelaars die de wagons naar het sorteren en/of de vertrekyard leiden. De sporen aan het begin van de sorteer yard en het midden van de sorteer yard zijn uitgerust met geautomatiseerd remmen voor de wagons. De grote yards hebben soms automatisering tussen de sporen in de sorteer yard die de treinsamenstelling coördineren. In Europa bestaan heuvel shunting yards hoewel hun aantal klein is. Met het oog op de intermodale groei en volle bestaande terminals kunnen investeringen in conventionele of nieuwe-generatie terminals in de nabije toekomst vereist zijn.

De infrastructuur van een weg-rail terminal bestaat uit een opslaggebied voor tijdelijke opslag van laadeenheden, een railgebonden terrein om treinen te bedienen en een terrein voor vrachtwagens. Een bekende lay-out is dat van vier sporen, twee wegen en twee opslaggebieden. De laadeenheden kunnen maximaal driehoog worden opgeslagen. Brugkranen op rails bedienen vaak alle drie de gebieden (weg, rail en opslag). Een voorbeeld van een weg-rail terminal staat in Figuur 3.

[Figuur 3: De road-rail terminal van KombiVerkehr in Ludwigshafen]

Een voorbeeld van een nieuwe-generatie terminal, de Noell Megahub, is weergegeven in Figuur 4. De infrastructuur van een nieuwe-generatie terminal bestaat vaak uit een opslaggebied voor het tijdelijk stapelen van laadeenheden, een railgebied waar de treinen worden gediend en een vervoersysteem dat laadeenheden van de ene naar de andere kraan leidt. Vaak hebben de nieuwe-generatie terminals een kleinere oppervlakte dan bestaande terminals. Indien echter nieuwe-generatie terminals zouden worden geïntroduceerd dan zal hun schaal waarschijnlijk groter zijn dan van de bestaande terminal die wordt vervangen. De terminal lay-out kan uit elke combinatie van de drie verschillende gebieden bestaan en elk gebied kan uit één of meerdere wegen of sporen bestaan. Het opslaggebied kan uit platforms op hoogte bestaan en de laadeenheden kunnen tot maximaal driehoog worden opgeslagen. De lengte en de breedte van een nieuwe-generatie terminal hangt van de vereiste capaciteit af. Voor dit onderzoek gaan we ervan uit dat de terminal geëlektrificeerd is en dat de treinen direct toegang hebben om verandering van locomotief (diesel/elektrisch) te vermijden. Het overslagmateriaal kan bestaan uit onder andere (geautomatiseerde) op rails gemonteerde brugkranen en opslagkranen. Als de ontworpen aankomst en vertrekprocedure in de praktijk niet werkt dan kan een locomotief en een railverbinding rond de terminal vereist zijn om treinen in en uit de terminal te trekken/duwen. In de volgende sectie zal het theoretische simulatiemodel worden ontwikkeld om de drie terminaltypen te evalueren.

[Figuur 4: Een voorbeeld van een nieuwe generatie terminal: Noell Megahub]

3. Theorie voor het simuleren van eindontwerpen

Een simulatiebenadering werd gekozen om een model te ontwikkelen om gunstige operationele voorwaarden te identificeren voor nieuwe-generatie terminals en hun

operationele prestaties ten opzichte van conventionele terminals te kwantificeren. Simulatie is een techniek die het empirische systeem (echte wereld) nabootst. Het empirische systeem wordt 'gevangen' in een model in een reeks veronderstellingen over de verrichting van het systeem, uitgedrukt als wiskundige of logische relaties tussen elementen in dat systeem (Winston, 1994, Hoofdstuk 23). In deze studie bestaat het systeem uit eigenschappen van de hub-en-spoke netwerken, de terminals en de terminaloperaties. Een eerste stap naar de bouw van een simulatiemodel is het empirische systeem te beschrijven. Een systeemanalyse werd uitgevoerd voor deze beschrijving. De analyse van het systeem is een techniek waardoor de doelstellingen, de componenten, en de elementen van het systeem, en interactie tussen componenten en elementen, en tussen het systeem en zijn milieu systematisch worden ontrafeld (gebaseerd op Balci, 1998; Banken, 1998; Wet en Kelton, 1991; Nikoukaran et al., 1999; Shannon, 1975). Het onderscheid tussen een component en een element is dat de componenten het systeem op hoger niveau dan elementen beschrijven. Een component bestaat uit verscheidene verwante elementen (Clementson, 1988; Vloed en Carson, 1990). De componenten en de elementen van het systeem kunnen vanuit bepaalde gezichtspunten van de onderzoeker worden beoordeeld en met onderzoekdoelstellingen (Clementson, 1988) overeenstemmen. Dit leidt tot een selectie van eigenschappen van het te beschrijven en te analyseren systeem. De gegevens voor de systeemanalyse waren een mengsel van empirische gegevens en veronderstellingen met betrekking tot concepten en ideeën voor nieuwe-generatie terminals en hub-en-spoke netwerken. Om informatie en gegevens te verkrijgen, werden de volgende benaderingen gebruikt (Bontekoning, 2006):

- onderzoek naar wetenschappelijke journals, rapporten, professionele tijdschriften en commerciële documentatie;
- (telefoon) gesprekken met terminalfabrikanten en terminal en netwerkexploitanten;
- bezoeken ter plaatse aan shunting yards, weg-rail terminals, nieuwe-generatie terminal pilots;
- observatie van schaalmodellen en animatie van nieuwe generatie terminals;
- case studies

De architectuur van het model bestaat uit vijf delen (Bontekoning, 2006): I) inputmodule; ii) simulatiemodellen; iii) kostenmodule; iv) resultatenmodule; en v) de resultatenmodule van kosten. Voor een overzicht, zie Figuur 5.

[Figuur 5: Architectuur van het simulatie model]

De volgende benadering wordt gebruikt voor de experimenten. Eerst bepaalt de gebruiker de experimenten in de inputmodule. Ten tweede worden de inputgegevens vertaald in de simulatiemodellen. Ten derde worden de experimenten uitgevoerd in het simulatiemodel. Ten vierde wordt een deel van de input en van de resultaten van het simulatiemodel gebruikt als input voor de kostenmodule en in economische prestatie-indicatoren vertaald. Tot slot worden de resultaten van de simulatie-experimenten aan de gebruiker teruggemeld.

De inputmodule wordt gecreëerd in Excel. De gebruiker van het model specificeert de inputparameters voor de experimenten die moeten worden gedaan. De inputmodule is deterministisch. Dit maakt betere controle van de inputvariabelen en de gemakkelijke vergelijkingen van de resultaten van verschillende simulatie-experimenten mogelijk. De inputmodule bevat het aantal treinen, de aankomsttijd, tijd tussen aankomsten, groepnummer, aantal treinen in een groep, rangorde in een groep en het aantal te behandelen laadeenheden of wagons. Door de input te variëren kunnen de verschillende vraagvolumes en de verschillende aankomstpatronen worden geanalyseerd. Elke trein krijgt een nummer om zijn positie in de groep te bepalen. De aankomsttijd van de trein is relevant voor de vereiste capaciteit, de planning en de controle van middelen. Om dezelfde reden is de tijd tussen de aankomst van treinen in de zelfde groep en tussen groepen belangrijk. De treinen in dezelfde groep krijgen hetzelfde groepnummer. Het aantal treinen in een groep is relevant voor het bepalen van de infrastructuurcapaciteit,

de planning en de input van middelen. De rangorde in een groep moet dus vooraf bekend zijn. De aankomst van treinen die tot de zelfde groep behoren is gesynchroniseerd binnen een bepaald tijdvenster om de terminaloperaties zo efficiënt mogelijk te kunnen plannen. Het aantal uit te wisselen laadeenheden of wagons per trein en per treingroep is relevant voor de planning en capaciteitcontrole. Het aantal wagons hangt van de lengte van een trein en de lengte van individuele wagons af. Aangezien de lengte van wagons varieert en de lengte van treinen ook, zal het aantal wagons ergens tussen 12 wagons (400m/34m) en 43 wagons (600m/14m) liggen. Het aantal laadeenheden per trein verschilt sterk. Naast de lengte van de laadeenheden, bepaalt het gewicht hoeveel laadeenheden op één railwagon kunnen worden geladen. Een wagon van 14 meter kan bijvoorbeeld twee 20' containers (maximaal 35 ton wegen), één 40' container, één swap body of één zware 20' container vervoeren. De simulatiemodule bestaat uit verscheidene simulatiemodellen. De simulatiemodellen zijn gebouwd in Arena (Balci, 1998; Banken, 1998; Wet en Kelton, 1991; Kelton et al., 1998; Nikoukaran et al., 1999; Shannon, 1975). Wegens fundamentele verschillen in soorten middelen en de route van stromen in de shunting yard en de (nieuwe-generatie) terminal moesten twee simulatiemodules worden geconstrueerd: een shunting yard module en een terminalmodule. Alle modules zijn echter gebaseerd op hetzelfde algemene kader en modelleringlogica. In het shunting model worden, voordat de treinen het systeem ingaan, eerst de verschillende wagons losgekoppeld van de trein zodat zij tot een nieuwe trein kunnen worden opgebouwd. Wat opvalt aan dit deel van het model is dat de processen om los te koppelen en te assembleren niet tegelijkertijd kunnen worden gedaan: dit kan slechts nadat alle laadeenheden het proces van het loskoppelen zijn doorgegaan. Tijdens de behandeling van de treinen van een groep moeten alle treinen van andere groepen wachten. Na het loskoppelen van de treinen gaat de volledige groep treinen het proces van treinopbouw in en de volgende groep treinen kan dan worden losgekoppeld.

In het nieuwe-generatie terminalmodel zijn de containers verdeeld in drie verschillende groepen die verschillend worden behandeld. De eerste groep omvat laadeenheden die direct op een andere trein kunnen worden gezet. De tweede groep bestaat uit laadeenheden die in een buffer moeten worden gezet alvorens zij op een andere trein kunnen. De laadeenheden van de derde groep moeten eerst worden vervoerd voordat ze op hun trein kunnen worden gezet. Deze eenheden worden door de kraan op een vervoersysteem gezet, dan door een transportband vervoerd en daarna op de juiste trein gezet. Om ervoor te zorgen dat er geen congestie zal voorkomen heeft het proces om containers uit het vervoersysteem (dat een capaciteit van 25 laadeenheden heeft) te verwijderen prioriteit over anderen. Een belangrijk kenmerk van de operaties is dat de processen die tot de verschillende groepen behoren tegelijkertijd worden uitgevoerd. Het is niet noodzakelijk om eerst een proces te voltooien om het volgende proces in te kunnen gaan. Nadat alle laadeenheden op de juiste trein zijn gezet en de processen van alle verschillende activiteiten zijn beëindigd, verlaat de volledige groep treinen tegelijkertijd het systeem en kan de volgende groep treinen het systeem binnenkomen. De simulatiemodules bestaan uit een aantal componenten (Bontekoning, 2006): i) operatie toegangbeheer; ii) generatie van laadeenheden van wagons; iii) terminal operaties; en, iv) treinvertrek. De operatie toegangsbeheer beschermt de toegang van groepen treinen tot de terminal. Alvorens een trein een terminal kan ingaan moet de behandeling van de vorige groep zijn beëindigd. De nauwkeurige logica in deze module verschilt in beide simulatiemodellen omdat in het nieuwe-generatie terminalmodel de volledige vorige groep het systeem verlaten zou moeten hebben alvorens de volgende kan binnengaan. Dit is niet noodzakelijk in het shunting model waar een volgende groep kan binnengaan wanneer het loskoppelen geëindigd is. De generatie van wagons en laadeenheden zet de trein in een aantal groepen om. Elke groep bestaat uit een aantal wagons of laadeenheden. De wagons of de laadeenheden worden ook de eindbestemming meegegeven. De component van terminal operaties modelleert de werkstations en de servers, behandeling van wagons of laadeenheden, de route van de stromen, prioriteiten en het vrijmaken van railcapaciteit bij de terminal. In de modellen van de terminal operaties worden er servicetijden gebruikt voor de verschillende processen die plaatsvinden. Voor het shuntingmodel zijn bijvoorbeeld twee

distributiefuncties van de servicetijd geschat: voor het sorteerproces en voor het treinsamenstelling proces. De servicetijden voor deze processen zijn samengesteld uit de duur van een combinatie van activiteiten. Voor elk activiteit zijn gegevens verzameld in gesprekken met shunting yard operators betreffende het minimum, het meest waarschijnlijk en de maximum servicetijd. Gegevens van de kinematica van de kraan die in het nieuwe-generatie terminalmodel in combinatie met lay-outgegevens wordt gebruikt werden bijeengezocht uit de literatuur en dit liet de simulatie van de kraanbeweging bij nieuwe-generatie terminals toe in een spreadsheet (Meyer, 1998). De tool werd gebruikt om 100 cycli te genereren waaraan een distributiefunctie van de servicetijd werd gekoppeld. De vervoertijd van een container in het vervoersysteem is bepaald als constante waarde van 2.5 minuten. Deze waarde is de gemiddelde vervoertijd die in de simulatiestudie door Meyer (1998) wordt gebruikt. Het doel van de component van het treinvertrek is gegevens te registreren over de operaties in het model en deze informatie in een outputdossier vast te leggen. Tijdens de simulatie-experimenten worden diverse gegevens verzameld die vervolgens worden overgebracht naar de kostenmodule.

De resultatenmodule wordt gecreëerd in Excel. De resultaten van de simulatie-experimenten en de economische prestaties worden gepresenteerd aan de gebruiker in een spreadsheet.

Aangezien een simulatiemodel geen kostenmodule omvat, werden een afzonderlijke kostenmodule en de module van het kostenresultaat geconstrueerd in een spreadsheet. De input- en outputvariabelen van het simulatiemodel zijn als inputvariabelen in de module van de kostenberekening gebruikt naast gegevens die uit de literatuur afkomstig zijn (Terminet, 2000; Impuls, 1999). De kostencategorieën in de kostenmodule zijn: kapitaaluitgaven voor vaste activa, bijvoorbeeld infrastructuur zoals sporen, opslaggebied, oppervlakte, gebouwen, materiaal en het softwaresysteem. Kapitaaluitgaven worden onderverdeeld in afschrijvingskosten en rentekosten. De operationele kosten omvatten personeelskosten, consumptiekosten (brandstof), onderhoudskosten, en beleid- en beheerskosten. De interessantste resultaten van de modellen worden in de volgende sectie gepresenteerd.

4. Modeltoepassing en resultaten

Deze sectie analyseert de toepassing en de resultaten van het geconstrueerde computermodel. De belangrijkste doelstelling van de experimenten was gunstige operationele voorwaarden voor nieuwe-generatie terminals te identificeren en die te vergelijken met conventionele terminals. Er zijn twee belangrijke experimenten uitgevoerd: 1) een eerste reeks om gunstige condities te identificeren; en 2) een gevoeligheidsanalyse. Om gunstige condities te kunnen identificeren is een evaluatiekader met twee benchmark criteria voor de snelheid van operaties en kosten ontwikkeld (zie Figuur 6).

[Figuur 6: Opties voor gunstige voorwaarden]

Het ontwerp van de experimenten is dusdanig dat door een opeenvolging van experimenten de gunstige condities voor de tijdgevoelige markt worden geïdentificeerd. De belangrijkste variabele eigenschappen zijn de volgende: treinaankomst om de 8 minuten; niet-geplande laadpositie van laadeenheden; gesynchroniseerde aankomst; en gesynchroniseerde operaties. De resultaten van de experimenten voor alle verschillende combinaties van variabele vraag en capaciteitsniveaus zijn 'geplot' in Figuur 7.

[Figuur 7: De prestaties van de tijd en van kosten van de 1^e experimenten]

Figuur 7 toont twee dingen. Ten eerste, hoe sneller de terminal (kortere gemiddelde trein service tijd), hoe hoger de kosten per laadeenheid. Ten tweede, de nieuwe-generatie terminal zou met de korte trein servicetijden tijdgevoelige stromen kunnen aantrekken.

In bepaalde omstandigheden (voor laadvolgorde, laadfactor, interarrival tijd en synchronisatie van aankomst en operaties), kan de nieuwe-generatie terminal aan de tijd en kostencriteria voldoen (op voorwaarde van een voldoende groot volume). Dit volume is minimaal tussen de 5 en 13 treinen per dag afhankelijk van de vereiste snelheid van operaties. Hoe sneller de operaties moeten zijn hoe meer equipment vereist is en hoe hoger het minimaal vereiste volume. Als de kosten lager dan 50 euro per laadeenheid worden vereist, dan moet het minimumvolume hoog zijn, of er zou goedkoper equipment kunnen worden ingezet om zo kosten te drukken. De nauwkeurige weergave van de werkende terminal is moeilijk en hangt grotendeels samen met de veronderstellingen die in het model worden gemaakt. Daarom is de analyse van gunstige condities voor nieuwe-generatie terminals uitgebreid met een gevoeligheidsanalyse. De cases die zijn inbegrepen bij de gevoeligheidsanalyse zijn die gevallen die minstens aan het tijdcriterium van 240 minuten en kosten 60 euro per laadeenheid voldoen. De variabelen die in de gevoeligheidsanalyse worden bestudeerd zijn de volgende: 1) een geplande laadvolgorde; 2) een laadfactor van 1.4 en 1.8, respectievelijk (de laadfactor verwijst naar het aantal laadeenheden per wagon); 3) een verhoging van totale jaarlijkse kosten toe te schrijven aan een hoger bedrag aan investering in equipment en infrastructuur of hogere rentevoeten van 3% en 6% respectievelijk; 4) verschillende aankomstvolgordes; 5) vertragingen; en 6) niet-gesynchroniseerde operaties.

De gevoeligheid voor geplande laadvolgorde toont aan dat de relatief langzamere terminals het meest profiteren van een geplande laadvolgorde. Terwijl de trein servicetijd voor nieuwe-generatie terminals tussen de 2 en 24 minuten afneemt, tonen de heuvel shunting yards en de weg-rail terminals een vermindering van 40 tot 105 minuten (Figuur 8).

[Figuur 8: Vermindering van de tijd van de treindienst toe te schrijven aan een geplande laadvolgorde]

Figuur 8 toont drie issues. Ten eerste, onder de voorwaarde van een geplande laadvolgorde zijn de heuvel shunting yards en de weg-rail terminals een alternatief voor nieuwe generatie- terminals bij een vraag van drie groepen van drie treinen geworden. Ten tweede, onder de voorwaarde van een geplande laadvolgorde zijn de heuvel shunting yards en de weg-rail terminals ook opties voor kleine hub-en-spoke netwerken. Ten derde blijft de nieuwe-generatie terminal de enige keus voor grotere volumes dan drie groepen van drie treinen.

De gevoeligheidsanalyse voor kleinere of grotere laadfactoren wijst op twee dingen. Ten eerste beïnvloedt de laadfactor (duidelijk) niet de trein servicetijd van shunting yards omdat de laadfactor niet het aantal wagons beïnvloedt. De laadfactor beïnvloedt wel de trein servicetijd van de andere twee terminal types. Voor nieuwe-generatie terminals leidt een laadfactor van 1.4 tot kortere trein servicetijden van tussen de 2 en 25 minuten. Een laadfactor van 1.8 leidt tot verhoging van de trein servicetijd van tussen de 1 en 27 minuten. Ten tweede beïnvloedt de laadfactor (natuurlijk) de kosten per laadeenheid. De minimum kostenverhoging per laadeenheid toe te schrijven aan een kleinere laadfactor (1.4) is €2 en de maximum kostenverhoging is €8. De minimum kostendaling per laadeenheid toe te schrijven aan een grotere laadfactor (1.8) is €1 en de maximumkostendaling is €8.

De gevoeligheid van de eerste resultaten voor veranderende kosten is op twee manieren onderzocht: 1) een 25% verhoging van investeringen in equipment of een 25% verhoging van infrastructuur investeringen; en 2) een rentevoet van 3% of 6%. De analyse van kostenstructuren toont aan dat hoge equipment kosten de jaarlijkse kostenstructuur van een nieuwe-generatie terminal overheersen, terwijl de infrastructuurkosten de heuvel shunting yard kostenstructuur overheersen. De gevoeligheid van de kosten per laadeenheid hangt ook van de vraag af. Bij een grote

vraag (bv. meerdere treingroepen) kunnen deze extra kosten worden verdeeld over meer laadeenheden dan bij een kleine vraag (bv. 1 treingroep).

[Figuur 9: Gevolgen van een 25% verhoging van de materiaalinvestering]

Ten eerste toont de analyse aan dat de extra kosten per laadeenheid variëren tussen de €1 en €10 bij een verhoging van de investeringen in equipment (Figuur 9) en tussen de €1 en €4 voor een verhoging van de investering in infrastructuur. Ten tweede ligt de relatieve kostenverhoging door de verhoging van de investering in equipment tussen 3% en 20%; als resultaat van een verhoging van de investeringen in infrastructuur is dit tussen de 2% en 13%. Door de kleine procentuele kostenverhogingen zijn de absolute kostenverhogingen ook klein (vaak minder dan €1). Ten tweede, hoe groter het totaalbedrag van de investering in equipment en infrastructuur hoe groter het gemiddelde bedrag aan interest. De absolute kostenverhoging per laadeenheid voor een 3% rentevoet is tussen de €0 en €2 per laadeenheid. De absolute kostenverhoging van een 6% rentevoet is tussen de €4 en €9 per laadeenheid. De relatieve kostenverhoging per laadeenheid toe te schrijven aan een rentevoet van 3% is tussen 0% en 6% en voor een rentevoet van 6% is het tussen 4% en 20%.

De gevoeligheid voor verschillende aankomstregimes wijst op verscheidene issues. In de analyse betekent ideaal een aankomstregime waarin de treinen niet op de service hoeven wachten en het equipment niet op de treinen hoeft te wachten. In deze ideale situatie evenaart de trein terminaltijd de trein servicetijd.

[Figuur 10: Ideale interarrival tijden]

Figuur 10 toont de mate waarin de trein servicetijden kunnen worden verminderd op voorwaarde van ideale aankomsttijden. De grootste reductie in trein servicetijd wordt verkregen voor terminals met relatief lange trein servicetijden. Dit zijn vooral de heuvel shunting yards en weg-rail terminals. De grootste vermindering is 27 minuten.

Het bestuderen van de gevoeligheid aan vertragingen verstrekt inzicht in de vereiste buffertijd in aankomstregimes om onbetrouwbaarheid zo maximaal mogelijk uit te sluiten. Ten eerste beïnvloeden de aankomstvertragingen die niet resulteren in een verandering van de volgorde in de te behandelen treingroepen de trein terminaltijd van alle volgende treinen. Ten tweede is de ideale aankomsttijd van de laatste trein in een groep voor elke terminal verschillend. Ten derde hebben vertragingen van de laatste trein van een groep die niet resulteert in een verandering van de volgorde van te behandelen treingroepen een groter effect op trein terminaltijden dan andere vertraagde treinen in dezelfde groep. Het kleinste effect heeft een vertraging van de eerste trein van een groep omdat voor het grootste deel van de vertragingstijd de vertraging niet tot wachttijd leidt. Ten vierde lijken treinen in internationale netwerken gevoeliger voor aankomstvertragingen te zijn dan treinen in nationale netwerken. Ten vijfde, hoe sneller de terminal (in relatie tot de vraag), hoe groter het tijdhiat tussen de ideale trein eindtijd en het benchmark criterium. De analyse leert dat nieuwe-generatie terminals vertragingen van circa 60 minuten kunnen hebben zonder de trein eindtijd van het benchmarkcriterium te overschrijden. De analyse suggereert dat de ideale aankomstregimes buffertijd zouden moeten bevatten om vertragingen tot 60 minuten op te kunnen vangen.

In niet-gesynchroniseerde operaties is de verwerking van treinen minder afhankelijk van gesynchroniseerde aankomst. Voor minder gesynchroniseerde aankomstregimes kunnen niet-gesynchroniseerde operaties leiden tot een vermindering van de tijd dat treinen op elkaar wachten. Daardoor kan de trein terminaltijd verminderen. Het verschil voor terminals van niet-gesynchroniseerde operaties is dat de treinen hun laadeenheden via het opslaggebied 'ruilen'. Daardoor hoeven de treinen niet op dezelfde tijd aanwezig te

bij de terminal. Als we gesynchroniseerde met niet-gesynchroniseerde resultaten vergelijken dan kunnen een aantal issues worden waargenomen. Ten eerste leiden de niet-gesynchroniseerde operaties tot veel lagere trein terminaltijden voor alle nieuwe-generatie terminals. Deze significante verbetering van de trein terminaltijd gaat wel ten koste van de terminaltijden van de laadeenheden. De terminaltijd van de trein is korter omdat slechts één trein tegelijkertijd (en niet - zoals in gesynchroniseerde operaties - alle treinen van een groep in parallel) wordt bediend. Ten tweede zijn er treinen met veel langere trein terminaltijden dan voor gesynchroniseerde operaties. In beide gevallen veroorzaakt een vertraagde trein de langere trein terminaltijden. Hoewel de treinen hun laadeenheden via het opslaggebied uitwisselen moeten de treinen in hun geplande aankomstvolgorde worden behandeld omdat anders de laadeenheden hun verbindingstrein missen. Wanneer een trein vertraagd is dan moeten de treinen in de betreffende groep wachten op de service tot de vertraagde trein is aangekomen. Ten derde kan een langere trein terminaltijd het gevolg zijn voor sommige opvolgende treinen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat het aankomstregime voor gesynchroniseerde operaties (en dus niet voor niet-gesynchroniseerde operaties) ideaal is. De volgende trein komt zonder vertraging aan, terwijl de vorige trein nog in behandeling is. Daardoor neemt de trein terminaltijd van elke volgende trein toe met de wachttijd. Ten vierde overschrijden in niet-gesynchroniseerde operaties minder treinen het benchmarkcriterium. In niet-gesynchroniseerde operaties kan er een verbetering van de trein terminaltijd voor individuele treinen zijn, maar in het algemeen leiden niet-gesynchroniseerde operaties niet tot betere trein terminaltijden. Deze resultaten suggereren dat de niet-gesynchroniseerde operaties een middel kunnen zijn om onbetrouwbare dienstnetwerken te behandelen.

5. Conclusie

De onderzoeksvraag in dit paper was: 'Onder welke omstandigheden is een nieuwe-generatie terminal efficiënter dan een conventionele terminal?' De verschillende terminaltypes tonen aan dat nieuwe generatie-terminals kansen zouden kunnen bieden om de prestaties van terminals in het railnetwerk te verhogen. Echter, momenteel zijn de meeste terminals weg-rail of heuvel shunting yards. Deze terminals presteren minder goed (in termen van operaties) wanneer ze worden vergeleken met nieuwe-generatie terminals. Tot op heden zijn de kostenprestaties beter en bijbehorende financiële risico's lager dan die van nieuwe-generatie terminals.

De theoretische sectie introduceerde de modelleringbenadering om daarmee de prestaties van de verschillende terminals te kunnen bepalen. Op basis van de input, simulatie, resultaten, kosten, en kostenresultaten modules werden de gunstigste condities voor nieuwe-generatie terminals geïdentificeerd. De gunstige condities voor nieuwe-generatie terminals om aantrekkelijke tijd en kostenprestaties voor nieuwe intermodale markten te kunnen aanbieden zijn: aantrekkelijke tijd (trein terminaltijd van 120 minuten) en kosten (€50/handeling). Deze gunstige condities zijn natuurlijk gevoelig voor de gemaakte veronderstellingen. Daarom zijn deze condities geanalyseerd op hun gevoeligheid voor veranderingen in de veronderstellingen. De analyse heeft aangetoond dat nieuwe-generatie terminals optimaal kunnen werken met de minimum dagelijkse vraag van minstens negen treinen die in verscheidene kleine groepen van twee of drie treinen, trein interarrival tijden binnen een treingroep tussen 5 en 25 minuten, aankomstregimes met buffertijd tussen treingroepen van ongeveer 60 minuten, en aankomstvertragingen van maximaal 60 minuten. Deze voorwaarden vertonen nogal wat hiaten met de huidige intermodale praktijk. Een significante verbetering van de planning en de controle van het dienstnetwerk is vereist en dat geldt niet alleen voor nieuwe-generatie terminals. Voor conventionele terminals is het essentiëler dat de treinaankomsten gesynchroniseerd en betrouwbaar zijn. Als de railnetwerk problemen worden opgelost, blijft investeren in een nieuwe-generatie terminal, (zelfs met een gewijzigd ontwerp om de kosten te drukken) een gewaagde zaak. Potentiële

investeerders prefereren waarschijnlijk een geleidelijkere weg naar innovatie. Bestaande weg-rail terminals kunnen worden opgewaardeerd met een vervoersysteem en lijken zo een interessante oplossing voor de vraag naar terminals met negen treinen per dag.

[Tabel 1: Overzicht van de belangrijkste conclusies]

Tabel 1 geeft schematisch de belangrijkste conclusies weer van het onderzoek. Vanuit de theorie gezien presteren nieuwe-generatie terminals beter (in operationele termen). De condities daarbij zijn hoge volumes die tot lagere kosten/laadeenheid kunnen leiden. De veronderstellingen bij de goede prestaties (proces en kosten) van nieuwe-generatie terminals zijn redelijk optimistisch (maar moeilijk te realiseren). In Europa is tot nu toe geen nieuwe-generatie terminal gebouwd. Wanneer aanverwante railnetwerk problemen worden opgelost kunnen relatief lagere investeringskosten de nieuwe-generatie terminal nog aantrekkelijker maken. Het grootste positieve effect op de mogelijke implementatie van nieuwe-generatie terminals kan worden verkregen door de equipmentkosten te verlagen. Het drukken van kosten door goedkopere kranen te gebruiken leidt tot gelijkwaardige prestaties indien vergeleken met het verminderen van het aantal snelle kranen. Andere opties voor kostenverlaging kunnen veranderingen in terminalinfrastructuur zijn. Het aantal sporen kan worden verminderd vooral als de vraag in kleine treingroepen kan worden gestructureerd. Het aantal opslaggebieden, vervoerssystemen, en vrachtwagen opstelplaatsen kunnen ook worden verminderd. In plaats van het drukken van kosten zouden bestaande weg-railterminals met een vervoersysteem kunnen worden uitgerust. De resultaten suggereren dat een terminal met een vervoersysteem de kranen in de lengterichting van de terminal ondersteunt en zo tot beduidend snellere handelingprestaties bijdraagt. Op deze wijze kunnen de investeringen en de risico's worden beperkt.

Verwijzingen

Alicke, K. (1999), Modellierung und Optimierung von mehrstufigen Umschlagsystemen, PhD Thesis, Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

Alicke, K. (2002), Modeling and optimization of the intermodal terminal Mega Hub, *OR Spektrum*, 24, pp. 1-17.

Balci, O. (1998), Verification, validation, and testing. In: J. Banks (ed.), *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*, Wiley & Sons, New York.

Ballis, A. and J. Golias, (2002), Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals, *Transportation Research A*, 36, pp. 593-611.

Banks, J. (1998), *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*, Wiley & Sons, New York.

Barnhart, C. and H. Ratliff (1993), Modeling intermodal routing, *Journal of Business Logistics*, 14, pp. 205-223.

Beisler, L. (1995), Effiziente Produktionsstrukturen für den Kombinierten Verkehr (Efficient production structures for combined transport), *ETR Eisenbahntechnische Rundschau*, 44 (4), pp. 241-246.

Bontekoning, Y.M. (2006), *Hub exchange operations in intermodal hub-and-spoke networks*, TRAIL Thesis Series, TRAIL, Delft.

Cardebring, P.W., R. Fiedler, C. Reynaud and P. Weaver (2002), Summary report of the IQ project, TFK Transportforschung GmbH, Hamburg.

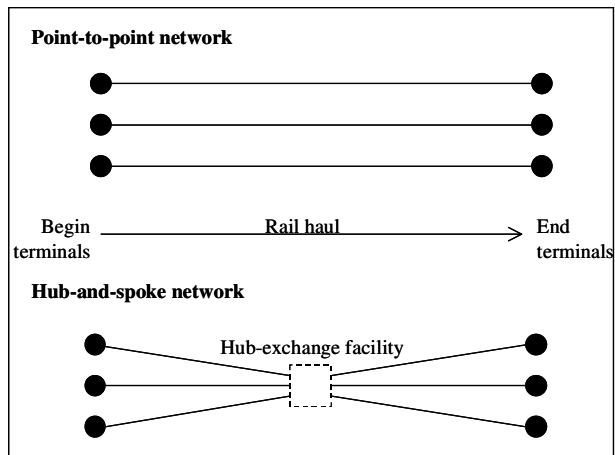
- Clementson, T. (1988), *Strategy and uncertainty a guide to practical systems thinking*, OPA BV., Amsterdam.
- European Commission (1997), *Smart intermodal European transport*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.
- European Commission (1998), *Osiris: Optimised system for an innovative rail integrated seaport connection*, EU project 4th FP, Office for publications of the European Communities, Luxembourg.
- European Conference of Ministers of Transport, United Nations Economic Commission for Europe & Statistical Division and European Union Eurostat. (1997), *Glossary for transport statistics*, <http://www1.oecd.org/cem/online/glossaries/>.
- Flood, R.L. and E.R. Carson (1990), *Dealing with complexity: An introduction to the theory and application of systems science*, Plenum Press, New York.
- Impulse (1999), *Cost effectiveness of intermodal transport*, Deliverable D13-D14.
- Janic, M., A. Reggiani and T. Spicciarelli (1998), *The European freight transport system: theoretical background of the new generation of bundling networks*, In: *Proceedings of the 8th World Congress of Transportation Research (WCTR)*, pp. 421-433.
- Jourquin, B., M. Beuthe and C.L. Demilie (1999), *Freight bundling network models: methodology and application*, *Transportation Planning and Technology*, 23, pp. 157-177.
- Kelton, W.D., R.P. Sadowski and D.A. Sadowski (1998), *Simulation with Arena*, WCB/McGraw-Hill, Boston.
- Konings, J.W. (1996), *Integrated centres for the transshipment, storage, collection and distribution of goods*, *Transport Policy*, 3 (1-2), pp. 3-11.
- Law, A.M. and W.D. Kelton (1991), *Simulation modeling and analysis*, McGraw-Hill, Boston.
- Meinert, T.S., A.D. Youngblood, G.D. Taylor and H.A. Taha (1998), *Simulation of the railway component of intermodal transportation*, Arkansas University, Fayetteville, AK.
- Meyer, P. (1998), *Entwicklung eines Simulationsprogramms für Umschlagterminals des Kombinierten Verkehrs*, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering (Maschinenbau), University of Hannover, Hannover.
- Newman, A.M. and C.A. Yano (2000), *Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting*, *Transportation Science*, 34 (3), pp. 256-270.
- Nikoukaran, J., V. Hlupic and R.J. Paul (1999), *A hierarchical framework for evaluating simulation software*, *Simulation Practice and Theory*, 7, pp. 219-231.
- Savy, M. and C. Aubriot (2005), *Intermodal transport in Europe*, Conseil National des Transports, Paris.
- Shannon, R.E. (1975), *Systems simulation: the art and science*, Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ.
- Southworth, F. and B.E. Peterson (2000), *Intermodal and international freight network modeling*, *Transportation Research: Part C*, 8, pp. 147-166.

Terminet (2000), Performance analyses 5 nieuwe generatie terminal case studies, Deliverable D10, OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, TU Delft, Delft.

Wiegmans, B.W., E. Masurel and P. Nijkamp (1999), Intermodal freight terminals: an analysis of the terminal market, *Journal of Transportation Planning and Technology*, 23, pp. 105-128.

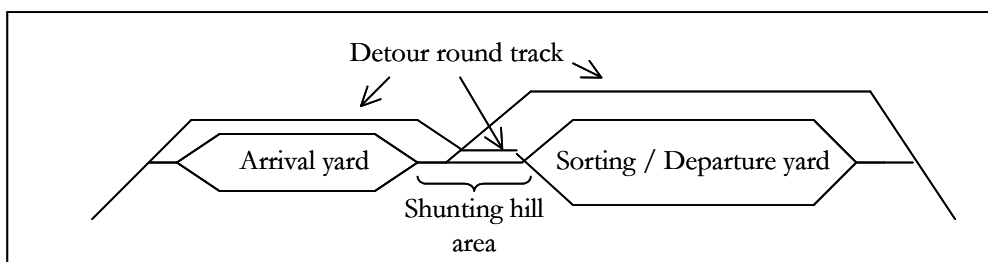
Wiegmans, B.W., M. Hekkert and M. Langstraat (2007), Can innovations in rail freight transshipment be successful? *Transport Reviews*, 27 (1), pp. 103-122.

Winston, W.L. (1994), *Operations research: applications and algorithms*, Duxbury Press, Belmont, California.



Figuur 1. Een puntnetwerk versus een stervormig netwerk

Bron: Bontekoning, 2006.



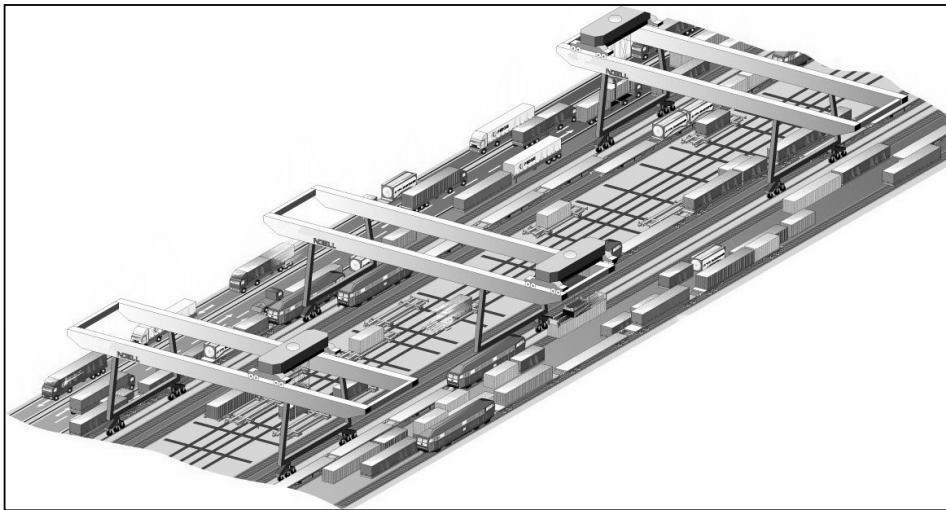
Figuur 2. Algemene lay-out van een heuvel-shunting yard

Bron: gebaseerd op Terminet, 2000.

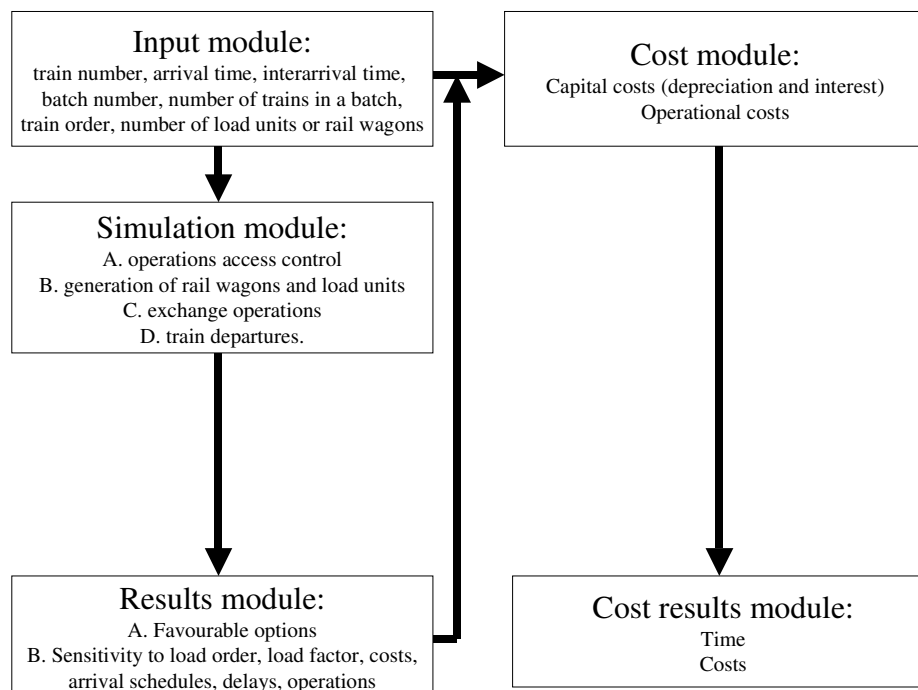


Figuur 3. De road-rail terminal van KombiVerkehr in Ludwigshafen

Bron: KombiVerkehr.

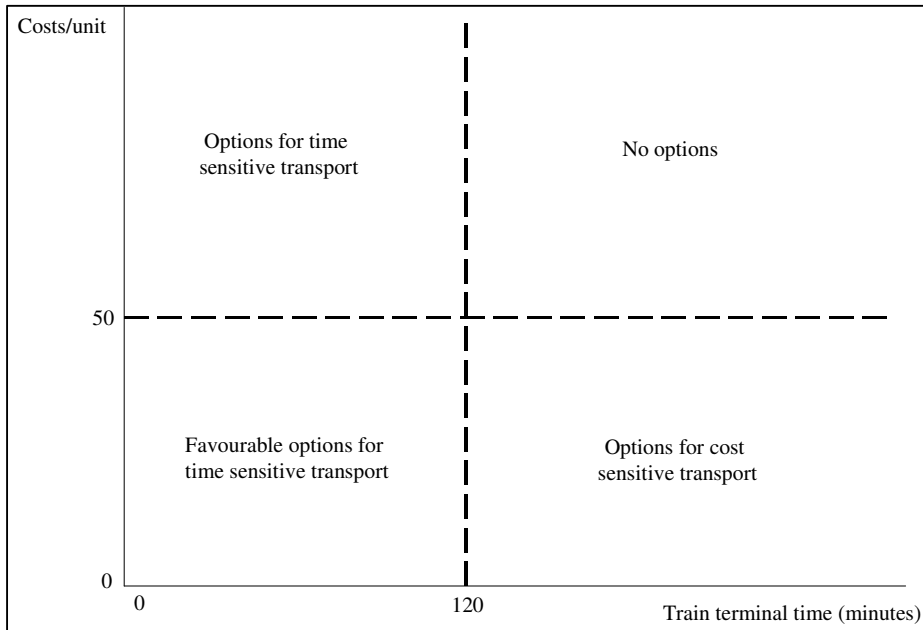


Figuur 4. Een voorbeeld van een nieuwe generatie terminal: Noell Megahub
 Van links naar rechts: 3 vrachtwagenlanes, 1 opslaglane, 3 sporen, vervoersysteem, 3 sporen, 2 opslaglanes.
 Bron: Noell GmbH, 2000.



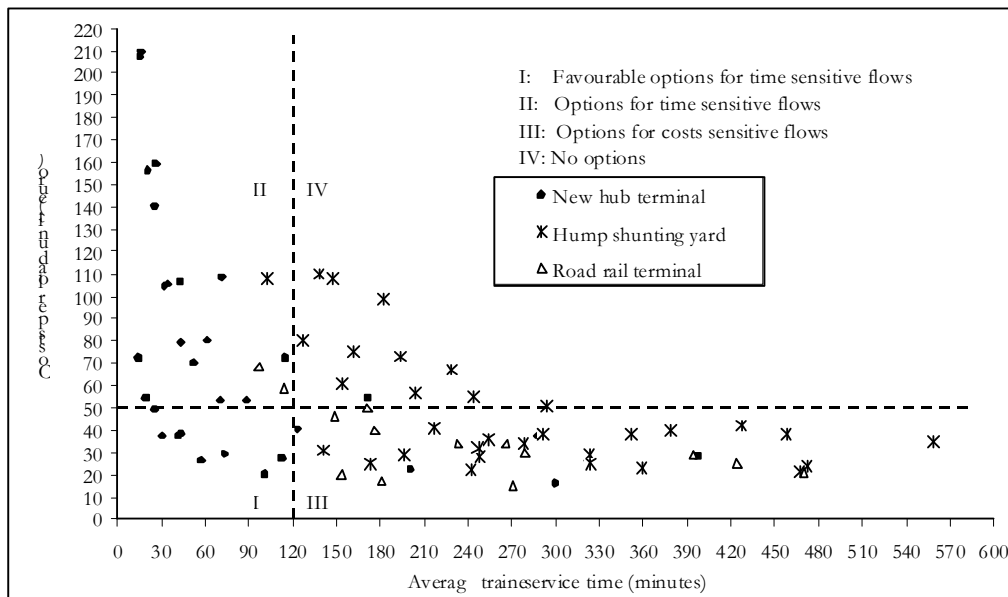
Figuur 5. Architectuur van het simulatie model

Bron: gebaseerd op Bontekoning, 2006.



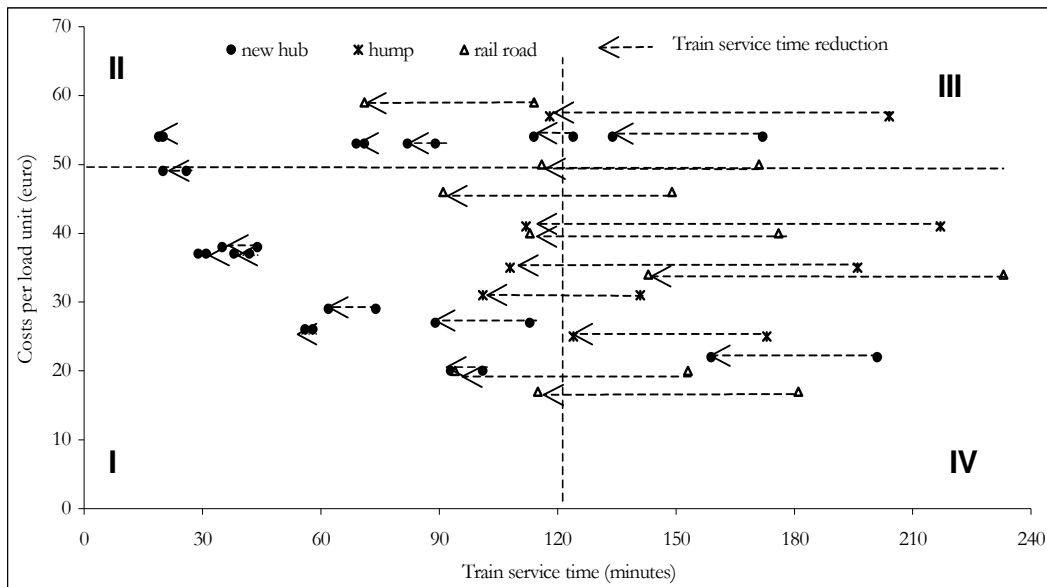
Figuur 6. Opties voor gunstige voorwaarden

Bron: Bontekoning, 2006.



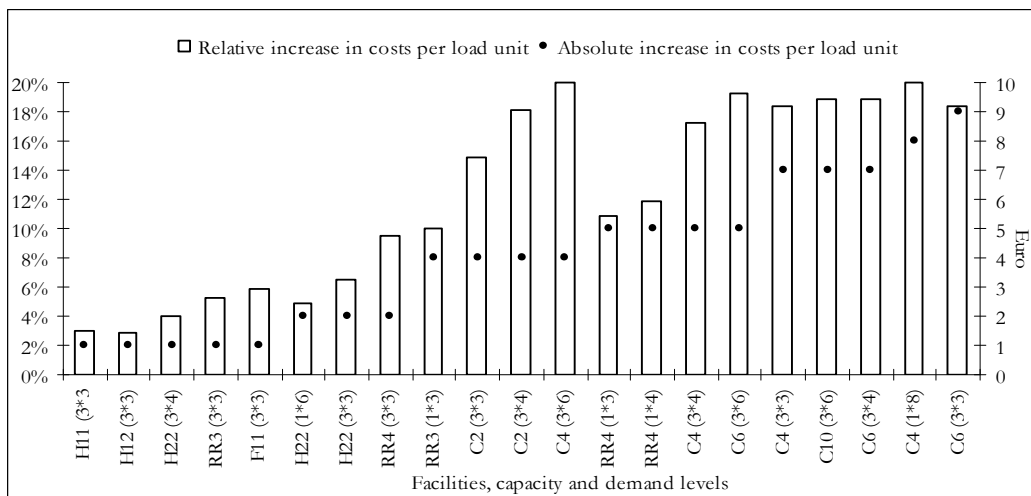
Figuur 7. De prestaties van de tijd en van kosten van de 1^e experimenten

Bron: Bontekoning, 2006.



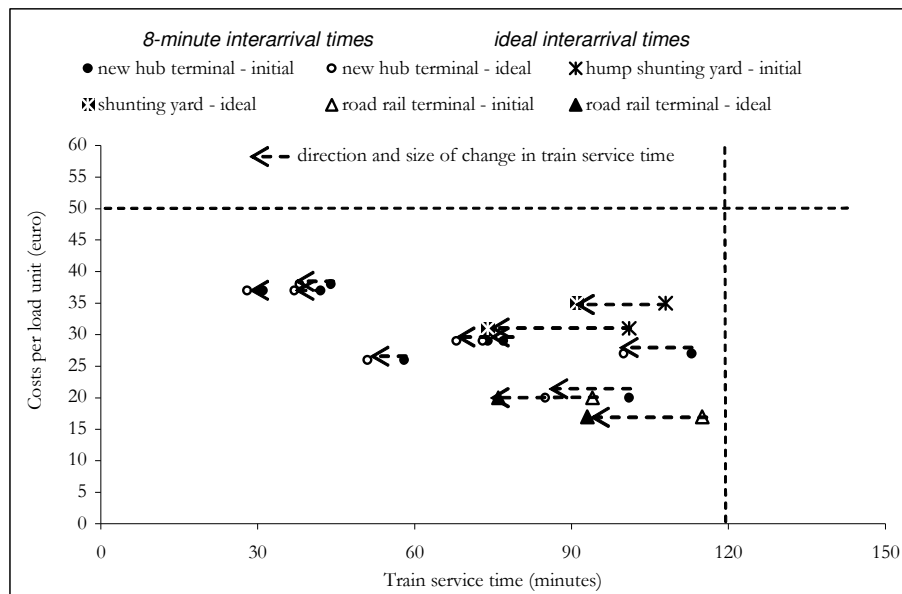
Figuur 8. Vermindering van de tijd van de treindienst toe te schrijven aan een geplande laadvolgorde

Bron: Bontekoning, 2006.



Figuur 9. Gevolgen van een 25% verhoging van de materiaalinvestering

Bron: Bontekoning, 2006.



Figuur 10. Ideale interarrival tijden

Bron: Bontekoning, 2006.

Tabel 1. Overzicht van de belangrijkste conclusies

Assumptions	Nieuwe generatie Terminal	Weg-rail Terminal	Hump Shunting Yard
Favorable Conditions	120 minutes terminal transit time, max €50/handling	-	-
Sensitivity analysis:			
- planned load order	Remains best choice	Performance improves	Performance improves
- load factor 1.4/1.8	Remains best choice	Performance changes	No effect
- annual costs	Sensitive to equipment cost and interest	-	Sensitive to infrastructure cost
- arrival schedules	Limited influence	Reduction in train service time	Reduction in train service time
- delays	Short terminal time, extra buffer time	Sensitive to delays	Sensitive to delays
- non-synchronized operations	Faster train service time Longer load unit time	Faster train service time Longer load unit time	Train terminal time might benefit, bit more flexible
Overall	9 trains, small batches, train interarrival times 5-25 minutes, 60 minutes batch buffer time, delays max 60 minutes.	-	-

Bron: gebaseerd op Bontekoning, 2006.