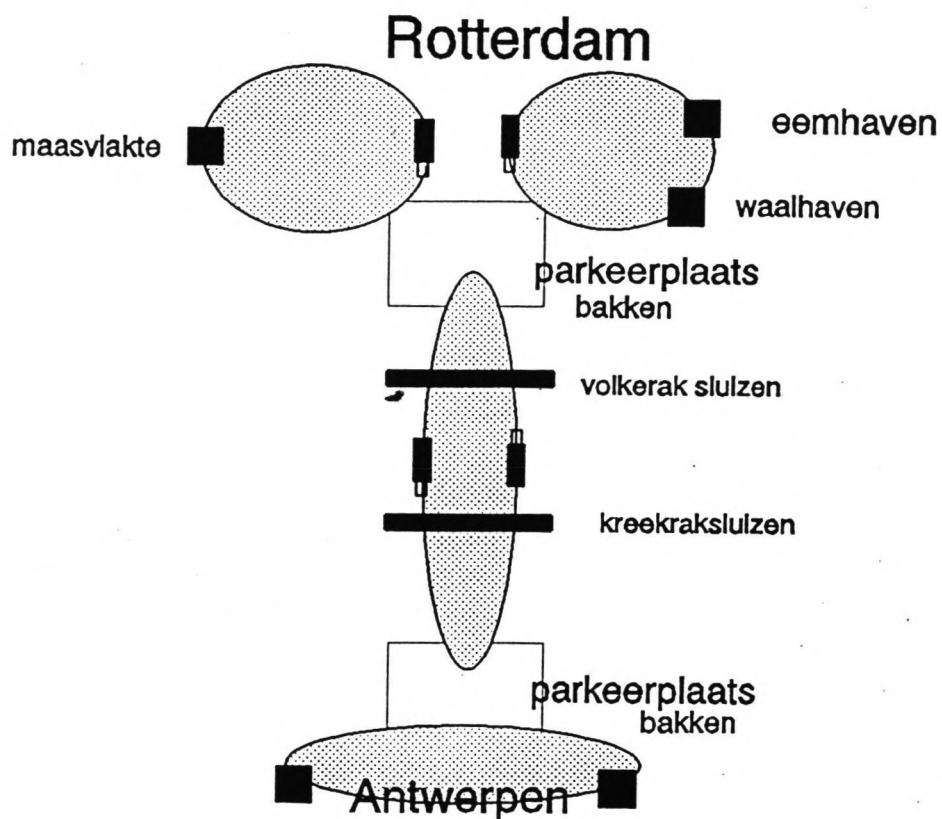


Simulatie model container transport Rotterdam - Antwerpen

Deel I

Juni 1992

Ir. M. Adler / ir. R. Groenveld



Deel I

SIMULATIE MODEL CONTAINERTRANSPORT ROTTERDAM-ANTWERPEN

Eindverslag

Afstudeerder : M. Adler
Afstudeerhoogleraar : Prof. ir. H. Velsink
Afstudeerbegeleider : ir. R. Groenveld

T.U. Delft
april 1992

Voorwoord

Het afstuderen heeft plaatsgevonden bij de Vakgroep Waterbouwkunde, sectie Waterbouwkunde, onder de verantwoording van Prof.Ir.H. Velsink. Het afstudeeronderwerp vindt plaats binnen het kader van een groter onderzoek namelijk "Integrale Vervoersketen Rotterdam". Naast de Vakgroep Waterbouwkunde maakt de Vakgroep Verkeer, de Vakgroep Transporttechnieken, de Vakgroep Maritieme Techniek, de heer Ir.P. Wijting van WTM, enkele leden van Rotterdam Interne Logistiek en enige mensen van het Havenbedrijf Rotterdam deel uit van dit totale onderzoek. Het afstudeeronderwerp betreft een simulatieonderzoek van het Shuttle-systeem, een nieuw ontworpen transportsysteem voor containers tussen Rotterdam en Antwerpen.

Het eerste deel van dit verslag bevat een complete omschrijving van het Shuttle-systeem en de resultaten van het simulatiemodel, het tweede deel bevat een gedetailleerde omschrijving van het computersimulatiemodel.

Via deze weg wil ik de heren Ir.P. Hengst en Ir.T. Spaans hartelijk bedanken voor hun medewerking aan dit afstudeeronderwerp. Mijn speciale dank gaat uit naar de heer J. Pesselse van Eurobarge, die er voor gezorgd heeft dat ik op een van zijn schepen mee mocht varen. Ik bedank tevens de heer Dr.Ir A.M. Hamdy die belangrijke gegevens verstrekt heeft voor mijn model. Tot slot wil ik mijn directe begeleider, de heer Ir.R.Groenveld, hartelijk bedanken voor de enthousiaste en prettige samenwerking.

Inhoudsopgave

Deel 1 : Algemeen.

<u>Voorwoord.</u>	1
<u>Samenvatting.</u>	2
<u>Hoofdstuk 1 : Inleiding.</u>	3
1.1 Voorgeschiednis.	3
1.2 Huidige situatie.	4
1.3 Toekomstige situatie.	5
<u>Hoofdstuk 2 : Probleembeschrijving.</u>	8
2.1 Probleemstelling.	8
2.2 Doelstelling.	8
<u>Hoofdstuk 3 : Probleemaanpak.</u>	9
3.1 Wachttijdtheorie of simulatiemodel.	9
3.2 De simulatietaal PROSIM.	9
3.3 Werkwijze.	11
<u>Hoofdstuk 4 : Schematisatie en uitgangspunten.</u>	12
4.1 Algemeen.	12
4.2 De parkings.	12
4.3 De overslaggebieden.	13
4.4 De duwboten.	13
4.5 De sluizen.	14
4.6 Het containeraanbod per overslaggebied.	15
<u>Hoofdstuk 5 : Opbouw van het model.</u>	18
5.1 Algemeen.	18
5.2 Component CONTGENERATOR.	18
5.3 Component OPERATOR.	19
5.4 Klasse-componenten D(1-4)DUWB.	19
5.5 Klasse-component TERMMAST.	22
5.5 Klasse-component BRGE.	22
<u>Hoofdstuk 6 : Strategieën en Gevoeligheidsanalyse.</u>	23
6.1 Algemeen.	23
6.1 Strategieënvoor het Shuttle_systeem.	25
6.2 Gevoeligheidsanalyse Shuttle-model.	30

<u>Hoofdstuk 7 : Validatie.</u>	40
7.1 Algemeen.	40
7.2 Handberekeningen Shuttle_model.	41
 <u>Hoofdstuk 8 : Capaciteitsbepaling.</u>	46
 <u>Hoofdstuk 9 : Resultaten .</u>	48
9.1 Algemeen.	48
9.2 Resultaten.	48
9.3 De kosten van het systeem.	49
 <u>Hoofdstuk 10 : Conclusies en aanbevelingen.</u>	52
9.1 Conclusies.	50
9.2 Aanbevelingen.	53
 <u>Bijlage Deel I.</u>	
- Bijlage Hoofdstuk 1	
- Bijlage Hoofdstuk 4	
- Bijlage Hoofdstuk 5	
- Bijlage Hoofdstuk 6	
- Bijlage Hoofdstuk 7	
- Bijlage Hoofdstuk 8	
- Bijlage Hoofdstuk 9	

Samenvatting.

In dit verslag wordt een model beschreven voor het transport van containers tussen het havengebied van Rotterdam en Antwerpen.

Het transport wordt hierbij gerealiseerd door een shuttle_systeem bestaande uit duwbotten en bakken. Het model is geschreven in de simulatietaal PROSIM waarbij gebruik is gemaakt van een personal computer. Het model is ontwikkeld door te beginnen met een zeer eenvoudig model, en vervolgens stap voor stap uitgebreid.

Het model dient informatie te verschaffen over het service niveau van het transportsysteem (transporttijd van de containers van herkomst naar bestemming).

Afhankelijk van het vereiste service niveau en het transportvolume is het benodigd materieel van dit shuttle_systeem vastgesteld.

Er worden vier vaargebieden in het systeem onderkend, die tezamen de verbinding tussen de verschillende overslaggebieden in Rotterdam en Antwerpen vormen. In het model zijn tevens twee parkings opgenomen die in feite de schakels vormen tussen de vier verschillende vaargebieden van het systeem. Het systeem kent vijf overslaggebieden, die gevormd worden door meerdere terminals (drie in Rotterdam en twee in Antwerpen). Het model bevat twee sluizen te weten de Volkeraksluis en de Kreekraksluis.

Door het verschil in transportvolume tussen de beide haven gebieden, moeten lege bakken vanuit Antwerpen teruggestuurd worden naar Rotterdam. De verschillende manieren waarop dit terugzenden van lege bakken kan worden gerealiseerd zijn tegen elkaar afgewogen.

Hoofdstuk 1 : Inleiding.

1.1 Voorgeschiedenis.

De kortste en goedkoopste weg tussen het industriële hart van Europa en de rest van de wereld loopt via Rotterdam en de Rijn. Daaraan dankte Rotterdam voor de oorlog zijn naam als grote transitohaven. Na de oorlog voegde de haven de grote industriegebieden Botlek, Europoort en Maasvlakte toe aan het areaal - zij trokken vervoer aan en stimuleerden de export. Na nieuwe transporttechnieken en groter wordende scheepsmaten werd Rotterdam het doorvoer-, opslag- en verdeelcentrum voor grote delen van Europa. Het is de grootste massagoedhaven ter wereld, volledig gemechaniseerd, ingesteld als opslag- en distributiecentrum voor Europa (en daarbuiten). Na de opkomst van het gebruik van de container is Rotterdam nu ook een van de grootste containerhavens. Rotterdam heeft goede aan- en afvoerwegen, overzee, maar ook via het Europese rivieren -en kanalenstelsel.

Door de groter wordende scheepsmaten gingen Deepsea rederijen steeds meer over tot het aandoen van slechts één haven. Havens als Antwerpen en Hamburg bloeiden hierdoor op. Ook zij gebruiken Europa als achterland. Het gevolg was en is een nog steeds feller wordende concurrentiestrijd met als inzet de gunst van de zeereiders.

De containers van het zeeschip worden na aankomst in de haven verder per binnenvaart, per trein of via de weg vervoerd.

Zo ontstaat ook de Rotterdam-Antwerpen verbinding die nog verder is verbeterd door o.a. de aanleg van de Phillipsdam en de Oesterdam.

1.2 Huidige situatie.

Op dit moment wordt het transport van containers tussen Rotterdam en Antwerpen verzorgd door de volgende vervoersmaatschappijen :

- Eurobarge (Rotterdam)
Het bedrijf heeft zich in 1981 opgericht en is in 1983 begonnen met een lijndienst tussen Rotterdam en Antwerpen.
- CEM (Antwerpen)
Dit bedrijf is ontstaan uit WCT en CGB die vanaf begin 1991 onder de naam CEM opereren.

Ze hebben een samenwerkingsverband met Eurobarge in die zin dat elkaars capaciteit wordt gebruikt indien dit mogelijk en noodzakelijk is.

- Dubbelman/Alpina (Rotterdam)
Deze onderneming werkt nauw samen met Alpina. Voor die tijd bestond er ook een samenwerkingsverband met MTA.
- MTA (Rotterdam)
Dit bedrijf is sinds een half jaar een zelfstandige onderneming.

De plaatsen tussen haakjes geven aan waar gevestigd is.

De vervoersmaatschappijen huren schepen van lichtermaatschappijen (privé ondernemingen) om de containers van hun klanten (de zeereders) te kunnen vervoeren.

Terminals of overslaggebieden die door de containerschepen in Rotterdam aangedaan kunnen worden om te laden en/of te lossen zijn :

- Deca ; deze terminal is gelegen in het westelijke gedeelte van Rotterdam.
- ECT-Delta ; de terminal is gesitueerd op de Maasvlakte.
- ECT-Home, Müller T., Quick Dispatch, Uniterminal ; deze terminals bevinden zich in de Eemhaven.
- NTB, Unitcenter, Multiterminals ; deze terminals zijn gelegen in de Waalhaven.

Voor een overzicht van de Rotterdams haven :
Zie bijlage ; hoofdstuk 1, blz 1.

De terminals die in Antwerpen door containerschepen bezocht kunnen worden, ook weer om te laden en/of te lossen zijn :

- Noordnatie, Hessenatie, Seaport ; Deze terminals zijn gesitueerd in het Delwadedok.
- ACT, Gylsen ; deze terminals bevinden zich in het Churchilldok.

Voor een overzicht van het havengebied van Antwerpen :

Zie bijlage hoofdstuk 1, blz 2.

Komende van Rotterdam varen de containerschepen via de Oude Maas in de richting van het Hollands Diep. Nadat de containerschepen de Volkeraksluis zijn gepasseerd varen ze via het Volkerak het Rijn-Schelde kanaal in, steken het Zoommeer over, passeren de Kreekraksluis en arriveren in de haven van Antwerpen.

Voor het vaartraject van de containerschepen tussen Rotterdam en Antwerpen :

Zie bijlage ; hoofdstuk 1, blz 3.

1.3 Toekomstige situatie.

De kwaliteit van de achterlandverbindingen is van vitaal belang voor de toekomstige ontwikkeling van de Rotterdamse haven [1]. Nu is de positie van Rotterdam als logistiek centrum vooral te danken aan de gunstige geografische ligging (rivierdelta) en de kwaliteit van de achterlandverbindingen [2]. De overheid is er veel aan gelegen deze positie ook voor de toekomst veilig te stellen, rep. te versterken [3]. Daartoe zal het evenwel noodzakelijk zijn een passend antwoord te vinden op gesignaleerde ontwikkelingen in de markt en, daarmee samenhangend, een aantal dreigingen die zich aftekenen zoals:

- De felle concurrentiestrijd tussen Rotterdam en havens als Hamburg en Antwerpen die allemaal van hetzelfde achterland Europa gebruik maken. De distributiekosten bepalen namelijk de keuze van de haven.
- Het containervervoer over de weg heeft veel last van congestie. Reeds in 1985 had 40% van de aankomende ritten te kampen met vertragingen op het Nederlandse wegennet [8]. De verwachte groei van het personenvervoer in Nederland zal de congestie vooralsnog fors doen toenemen met als gevolg meer knelpunten op het wegennet verspreid over heel Nederland.
- Strengere milieu eisen zullen aan het vrachtvervoer over de weg worden opgelegd. Een gevolg hiervan kan/zal zijn dat het vrachtvervoer over de weg aanzienlijk duurder zal worden.

Een alternatief voor de weg is de spoorweg. Uitgaande van het mainport concept dienen de spoorwegen voor Rotterdam een belangrijke rol te spelen bij de ontsluiting van een groot gedeelte van Europa. Vooralsnog blijft het aandeel van het containervervoer per spoor beneden verwachting laag [8].

De mogelijkheden voor de binnenvaart zijn pas in een laat stadium onderkend. De geringe milieubelasting en de ruime capaciteitsreserve op het vaarwegennet bieden evenwel gunstige groeiperspectieven voor deze sector [9].

Er zijn echter enkele negatieve problemen waar de containerbinnenvaart in de haven Rotterdam, maar ook in Antwerpen mee te kampen heeft [10]:

- De containerschepen die het transport tussen Rotterdam en Antwerpen moeten verzorgen dienen gemiddeld 5 terminals aan te doen om goed te kunnen opereren. De oorzaak van

dit gering aantal containers per call moet gezocht worden in de grote versnippering van de overslaggebieden in de beide havengebieden en de gebrekkige samenwerking tussen de overslaggebieden.

- Het gevolg is dat een containerschip 1.5 a 2 dagen laad- en lostijd nodig heeft alvorens te kunnen afvaren.
- De binnenvaartschepen worden slechts sporadisch op de afgesproken tijden behandeld (behalve ECT-Delta). Aangezien de afhandeling van zeeschepen absoluut prioriteit heeft, moeten binnenvaartschepen vaak van de kade om plaats te maken voor deze zeeschepen of zelfs wachten totdat een zeeschip vertrokken is.
- Een forse toename wordt verwacht van de groei van de aantallen containers voor de komende jaren.

Zie bijlage ; hoofdstuk 1, blz 4.

De voorspellingen over groei van aantallen containers in de toekomst blijken echter nog sneller werkelijkheid te worden dan verwacht. Nu al worden ruim 420.000 containers (TEU's) tussen Rotterdam en Antwerpen verscheept. De verwachting is dat over 1 à 2 jaar tussen Rotterdam en Antwerpen al boven de 500.000 TEU's vervoerd zullen gaan worden [7].

Gezocht is daarom naar alternatieve transportsystemen waarbij de containerdistributie in de beide havengebieden Rotterdam en Antwerpen en het transport tussen de beide havengebieden op een efficiëntere wijze gerealiseerd kan worden. Als oplossing is gekozen voor het Shuttle-systeem, een transportsysteem waarbij gebruik gemaakt wordt van duwbotten en bakken.

Voor een indruk van het nieuwe systeem :

Zie bijlage hoofdstuk 1, blz 5.

Het Shuttle-systeem verschilt duidelijk van het huidige systeem :

- Het transport tussen de havengebieden wordt duidelijk gescheiden van de distributie binnen de havengebieden zelf.
- Het systeem gaat uit van uitwisseling van bakken op de overslaggebieden waardoor de problemen rond de overslag op de terminals zelf buiten het transportsysteem worden gehouden.
- Als uitwisselingspunten voor de duwbotten worden parkeerplaatsen gebruikt die tevens dienst doen als schakels tussen de verschillende vaargebieden in het systeem.
- In ieder vaargebied pendelen een of enkele duwbotten die bakken met containers vervoeren met slechts één bestemming.

Hoofdstuk 2 : Probleembeschrijving.

2.1 Probleembeschrijving.

De in de toekomstige situatie beschreven ontwikkelingen (hoofdstuk 1, § 1.3) en de gepresenteerde oplossing met betrekking tot de containerdistributie in het havengebied Rotterdam zelf en het transport van containers naar Antwerpen in de toekomst zal nog al wat gevolgen hebben. Voor een nadere analyse van dit nieuwe transportsysteem (het Shuttle-systeem) is er behoefte dit Shuttle-systeem te testen op betrouwbaarheid, flexibiliteit, beheersbaarheid, transportsnelheid, en transportkosten.

2.2 Doelstelling.

De doelstelling van dit afstudeeronderzoek is een model te bouwen die het Shuttle-systeem op een zo waarheidsgetrouw mogelijke manier zal weergeven.

Het model dient daarbij informatie te verschaffen aangaande de volgende aspecten :

- De gemiddelde transporttijd van de container.
- De transporttijd van de container met een bepaalde onderschreidingskans.
- Het benodigde materieel om de doelstelling te halen (duwboten, bakken).
- De kosten van het nieuwe vervoerssysteem uitgedrukt in de vervoersprijzen per container (TEU).

Hoofdstuk 3 : Probleemaanpak.

3.1 Wachtijdtheorie of simulatiemodel.

Voor de nadere analyse van het nieuwe transportsysteem zijn in principe de volgende gereedschappen ter beschikking :

- Wachtijdtheorie.
- Simulatiemodellen.

De wachtijdtheorie is een analytische oplossing, welke alleen toegepast kan worden voor eenvoudige modellen. Het transport van containers tussen de beide havengebieden Rotterdam en Antwerpen en de distributie in de beide havengebieden Rotterdam en Antwerpen is echter een servicesysteem dat vanwege zijn complexiteit niet tot een eenvoudig model te schematiseren is. Een groot aantal parameters in het model is onderhevig aan toevalsfluctuaties :

- Vaartijden van de duwbotten.
- Aanbod van containers per dag per terminal in de beide havengebieden.
- Laad- en lostijden van de bakken met containers op de terminals in beide havens.
- Los- en vastkoppeltijden van de duwbotten aan de bakken met containers.
- Passeertijden door de twee sluizen (Volkeraksluis en de Kreekraksluis) van duwbotten.

Een analytische oplossing is in dit geval niet meer mogelijk. Het systeem zal dus gesimuleerd moeten worden. Gekozen is voor de simulatietaal PROSIM.

3.2 De simulatietaal PROSIM.

Prosim is een simulatietaal die is ontwikkeld op de Technische Universiteit Delft. Een simulatie is het naspelen van de werkelijkheid, in dit geval met behulp van een computer [11].

Voor de beschrijving van een simulatiemodel kan men gebruik maken van een gebeurtenisbenadering en een procesbenadering. Bij een gebeurtenisbenadering bevat het simulatiemodel voor ieder type gebeurtenis een deelprogramma. Bij de procesbenadering bevat het simulatieprogramma deelprogramma's voor de beschrijving van de componenten. Zoals de naam PROSIM al zegt, is deze taal gebaseerd op procesbeschrijvingen.

3.2.1 Beschrijving van de componenten.

Componenten zijn in dit geval de duwbotten, de bakken de terminals, terminalmasters. Aan de componenten kunnen eigenschappen worden meegegeven in de vorm van attributen (de terminalmaster heeft bijv. als attributen het aanbod van containers per dag, het aantal bakken dat nodig is om dit aanbod te kunnen vervoeren, de beladingsgraad van de bak, het aantal bakken dat gereed is voor vertrek etc). De beschrijving van de processen van de verschillende componenten gebeurt in modules. Om een wisselwerking te verkrijgen tussen de verschillende componenten kan men gebruik maken van referenties naar andere componenten. Bij deze wisselwerking is het vaak noodzakelijk om te weten waar bepaalde componenten zich bevinden in het systeem. Daarom wordt er veelvuldig gebruik gemaakt van rijen voor het tijdelijk opslaan van deze componenten. Opdrachten aan componenten in het systeem die zich veelvuldig herhalen kunnen worden uitgevoerd door macro's.

3.2.2 Opbouw van een programma.

Een PROSIM-programma is opgebouwd uit :

1. DEFINE.
2. MAIN.
3. MODULES.
4. MACRO'S

- ad1) In het definitiegedeelte worden alle componenten (met bijbehorende attributen), de rijen en overige variabelen gedefinieerd.
- ad2) Het hoofdprogramma zorgt voor de algemene handelingen zoals het inlezen van invoergegevens, het creëren en activeren van componenten en het beëindigen van het programma.
- ad3) Dit zijn deelprogramma's voor de procesbeschrijvingen van de verschillende componenten.
- ad4) Dit zijn beschrijvingen van procedure die herhaaldelijk voorkomen in het proces van een component.

3.3 Werkwijze.

Begonnen is met de bouw van een zeer eenvoudig model. Vervolgens diende voor diverse procesbeschrijvingen van componenten in het model een juiste strategie bedacht te worden.

Een strategie is dan het variëren of aanpassen van de procesbeschrijvingen van componenten op een dusdanige wijze dat de werkelijkheid zo reëel mogelijk weergegeven wordt.

Het model is stap voor stap uitgebreid en gedetailleerd door het inbouwen van de strategieën.

Met het uiteindelijk verkregen computermodel is vervolgens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Na de gevoeligheidsanalyse is het model gecalibreerd. De calibratie van het model heeft pas na de gevoeligheidsanalyse plaats gevonden omdat de resultaten van enige gevoeligheden nog wijzigingen of aanpassingen aan het model wenselijk maakten. Uit de belangrijkste resultaten die het model na enkele simulaties geeft zijn conclusies getrokken.

Hoofdstuk 4 : Schematisatie en uitgangspunten.

4.1 Algemeen.

Om de toekomstige praktijksituatie weer te geven in een computersimulatiemodel zijn er een aantal schematisaties aangebracht. Aangezien met het Shuttle-systeem een nieuwe oplossing wordt beoogd voor distributie van containers in de haven van Rotterdam en het transport van containers naar Antwerpen, worden container_zeeschepen niet direct in het model opgenomen. De aankomsten van container_zeeschepen op een terminal zijn verdisconteerd in het gereed komen van een bak op de terminal.

Op een terminal zijn meerdere afmetingen van containers in omloop [5], o.a.:

- De FEU (Fourty-Feet-Unit) met de afmetingen
l*b*h : 8ft*8ft*40ft.
- De TEU (Twenty-Feet-Unit) met de afmetingen
l*b*h : 8ft*8ft*20ft.

De verhouding in gebruik tussen een FEU en een TEU is naar schatting 45%-55% [4]. In het simulatiemodel zijn alle hoeveelheden containers omgerekend naar TEU's. Met andere maten voor containers dan de hierboven beschreven gestandiseerde twee maten wordt in het simulatiemodel geen rekening gehouden. Op de Oude Maas varen binnenvaartschepen op stroom. Met de stroming in dit vaargedeelte wordt in het simulatiemodel geen rekening gehouden, daar de snelheid van de schepen hierdoor nauwelijks wordt beïnvloed (er wordt meer gas gegeven zodat met dezelfde snelheid kan worden doorgevaren). Met hinder van andere schepen (passeren van schepen, inhalen etc.) in de havengebieden Rotterdam en Antwerpen en het vaargebied tussen de beide havengebieden wordt niet expliciet rekening gehouden. Ijsgang of andere calamiteiten (een verkeersongeluk een vaarwegvak of op een terminal) worden als buitengewone omstandigheden beschouwd en niet in het model meegenomen.

4.2 De parkings.

Dit zijn parkeerplaatsen voor bakken beladen met containers (TEU's). Parkings vormen in feite de schakels tussen de vaargebieden die door de verschillende duwboden worden bevaren in het systeem. Het systeem kent twee parkings,

een in Rotterdam en een in Antwerpen. De voorlopige plaats voor de parking in Rotterdam is aangenomen op de Oude Maas ter hoogte van het Hartelkanaal. De parking te Antwerpen wordt voorlopig aan het begin van het havengebied gesitueerd ter hoogte van de Schelde terminal. Voor de uiteindelijke locatie zal nog nader onderzoek verricht moeten worden. De voorlopige aanname voor de plaats van beide parkings heeft evenwel geen invloed op de werking van het nieuwe systeem. Voor een overzicht voor de voorlopige situering van de beide parkings :
Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 1 en blz 2.

4.3 De overslaggebieden.

Het nieuwe systeem kent vijf overslaggebieden, drie daarvan zijn gelegen in Rotterdam en twee in Antwerpen. In werkelijkheid zijn er natuurlijk meer overslaggebieden in Rotterdam en Antwerpen die wat containeruitwisseling een relatie hebben met elkaar. Maar omdat veel overslaggebieden dicht bij elkaar in de buurt liggen (b.v. de Eemhaven) of omdat de verschillende overslaggebieden op een gemeenschappelijke route liggen zijn deze overslaggebieden onder een noemer gebracht (concentratiepunt van overslaggebieden).

Terminal 1 is zodoende de gemeenschappelijke naam voor het westelijke gedeelte van Rotterdam geworden (bevat ECT-Delta en Deca).

Terminal 2 is de gemeenschappelijke naam voor de Eemhaven. (ECT-Home, Müller T., Quick-Dispatch, Uniterminal).

Terminal 3 omvat het Waalhavengebied (NTB, Unitcenter, Multiterminals)

Terminal 4 is de gemeenschappelijke noemer voor de overslaggebieden in het Delwadedok (Noordnatie, Hessenatie, Seaport).

Terminal 5 omvat de overslaggebieden in het Churchilldok (ACT, Gylsen).

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 1 en blz 2.

4.4 De duwboten.

Er worden vier vaargebieden in het systeem onderkend.

Gebied 1 is het vaargebied in het westelijke gedeelte van Rotterdam tussen de parking in Rotterdam en terminal 1, waar in eerste instantie één duwboot vaart.

Gebied 2 omvat het vaargebied in het stadge-

deelte van Rotterdam tussen de parking van Rotterdam en de terminals 2 en 3. Ook hier vaart in eerste instantie één duwboot.

Gebied 3 is het vaargebied tussen de parking in Rotterdam en de parking in Antwerpen. (de Oude Maas omhoog, via de Dortse Kil en het Hollands Diep naar de Volkeraksluizen, vervolgens via het Rijn-Schelde kanaal naar de Kreekraksluizen en verder naar de haven van Antwerpen). In dit vaargebied opereren in eerste instantie vier duwboten.

Gebied 4 beslaat het havengebied Antwerpen waar de terminals 4 en 5 zijn gesitueerd. Twee duwboten verzorgen in eerste instantie het transport tussen de terminals en de parking in Antwerpen.

Voor de vaartijden per duwboot in ieder vaargebied worden de volgende waarden in het model gebruikt:

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 3.

Aangezien slechts de uiterste waarden bekend zijn van de vaartijden op de verschillende vaartrajecten in het model is enigszins arbitrair een uniforme verdelingsfunctie aangenomen ter bepaling van de vaartijden voor de duwboten.

4.5 De Sluizen.

In het model zijn twee sluizen opgenomen, de Volkeraksluis en de Kreekraksluis. Deze twee sluizen zijn gesitueerd op het vaartraject tussen de parking van Rotterdam en de parking van Antwerpen. Beide sluizen zijn ingericht voor het verwerken van grote stromen binnenvaartschepen. Via een aanmeldingssysteem bij beide sluizen voor ieder binnenvaartschip wordt de kolk op een zo efficiënt mogelijke manier ingedeeld, enerzijds om de passerende binnenvaartschepen snel te kunnen helpen, anderzijds omdat binnenvaartschepen gevaarlijke stoffen kunnen vervoeren (deze schepen moeten apart geschat worden). Rijkswaterstaat, directie Zeeland en directie Zuid-Holland, hebben gegevens verstrekt over de Kreekraksluis en de Volkeraksluis met betrekking tot wachttijden + schutduur van duwboten met bakken. De gegevens over de Kreekraksluis zijn van het jaar 1990, die over de Volkeraksluis zijn van het jaar 1991.

De passages van de duwboot worden vastgesteld overeenkomstig de verdelingsfunctie vermeld in de volgende tabel:

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 3.

Uit de tabel in bovenstaande bijlage is op te maken dat meer dan 90% van de duwboten de sluisen gepasseerd is in minder dan een uur tijd. Daarom wordt, na verificatie met de twee sluismeesters, de verdeling van de passeertijden tot en met 60 minuten gebruikt voor beide sluispassages in het model. Langere passeertijden dan een uur, zijn ook te wijten aan :

- Ijsgang (voor het laatst in 1987).
- Calamiteiten b.v.ongeluk in een vaarwegvak, reparatie van een onderdeel van de sluis door een aanvaring.

Zoals al eerder vermeld in dit verslag worden bovenstaande vertragingen niet meegenomen in het simulatiemodel.

Zie tevens hoofdstuk 6, § 6.2.1.

4.6 Het containeraanbod per overslaggebied.

4.6.1 Het gemiddeld aantal TEU's per overslaggebied.

De volgende gegevens dateren uit het jaar 1988 en zijn afkomstig van de vakgroep Verkeer, afdeling Civiele Techniek :

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 4.

De terminals in de bijlage, hoofdstuk 4, blz 4, liggen allemaal in het havengebied Rotterdam. Verder is bekend dat van het gemiddeld aantal moves per terminal (voor het Rotterdam-Antwerpen verkeer) 60% van Rotterdam naar Antwerpen vervoerd wordt en 40% van Antwerpen naar Rotterdam. Er bestaat dus een zekere discrepantie tussen Rotterdam en Antwerpen als het gaat over vervoer van containers tussen de twee havengebieden. Als gevolg hiervan worden dus ook meer bakken (beladen met containers) van Rotterdam naar Antwerpen verscheept, dan terug vervoerd worden van Antwerpen naar Rotterdam. Lege bakken dienen dus teruggestuurd te worden naar Rotterdam.

Wanneer uitgegaan wordt van een jaar met 50 werkweken, dus 350 werkdagen in een jaar, dan is het transportvolume van aantallen TEU's dat in 1988 werd verscheept :

$$\approx 378 \text{ TEU's/dag} * 350 = 132300 \text{ TEU's/jaar}$$

In het jaar 1991 is echter al een aantal van 420000 TEU's verscheept (het verschil is o.a. te wijten aan de sterke groei in het gebruik van de container en het aandoen van slechts een haven door de container_zeeschepen). Omgerekend naar een daggemiddelde levert het transportvolume van 1991 :

$$420000 \text{ TEU's} \div 350 = 1200 \text{ TEU's/dag.}$$

Het transportvolume van 420000 TEU's in het jaar 1991 is inmiddels gecheckt bij de volgende instanties :

- Verschillende vervoersmaatschappijen.
- Rijkswaterstaat, directie Zeeland, aan de hand van het aantal passages van containerschepen door de Kreekraksluizen in 1991.

Voor de bepaling van het aantal TEU's per dag die in 1991 vanuit de overslaggebieden in Rotterdam naar Antwerpen verscheept werden is gebruik gemaakt van de volgende gegevens :

- De verhouding van gemiddeld aantal moves per dag tussen de terminals in Rotterdam (bijlage ; hoofdstuk 4, blz 4, tab.4.6.a.).
- De discrepantie in de distributie van aantallen TEU's tussen Rotterdam en Antwerpen. (met een verhouding van 0.6 : 0.4)
- Het verschil in aantallen TEU's per jaar tussen 1988 en 1991.

Hieruit is tevens het aantal TEU's per dag vanuit de overslaggebieden in Antwerpen naar Rotterdam te bepalen.

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 4.

Zoals eerder is vermeld in dit rapport worden in het simulatiemodel vijf concentratiepunten van overslaggebieden beschouwd. Aangezien over de haven Antwerpen verder geen gegevens beschikbaar zijn, is uitgegaan van gelijke aantallen TEU's voor de beide concentratiepunten van overslaggebieden. Deze aanname blijkt verder geen invloed op de resultaten van het simulatiemodel te hebben.

(zie hiervoor tevens hoofdst.6, § 6.2.3).

Voor een totaaloverzicht :

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 5.

4.6.2 Fluctuaties in de week.

Via de vakgroep Verkeer, afdeling Civiele Techniek zijn tevens gegevens verkregen over de ECT-Home terminal omtrent het aantal moves van TEU's per dag. Deze gegevens zijn van het jaar 1990. De terminal is gestationeerd in de Rotterdamse haven.

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 6 en blz 7.

Naast een gemiddeld containeraanbod per dag op een terminal blijkt er ook nog een schommeling rond dit gemiddelde in de week op te treden. De tendens is dat aan het eind van de week gemiddeld meer containers verscheept dienen te worden dan aan het begin van de week. Hiermee moet rekening gehouden worden in het simulatiemodel. Aangezien onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de juiste fluctuatie door de week voor elk overslaggebied te kunnen bepalen is gebruik gemaakt van de gegevens van ECT-Home (dit zijn de enige gegevens die openbaar zijn gemaakt en tevens betrouwbaar zijn). Met behulp van deze gegevens is voor elk concentratiepunt van overslaggebieden in het model een gemiddeld aanbod van containers berekend per dag van de week.

De op deze wijze verkregen schommeling door de week rond het gemiddeld containeraanbod voor elke terminal blijft echter een aanname. Het resultaat voor elke terminal in het model is uiteengezet in een tabel en ook grafisch weergegeven :

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 8, blz 9 en blz 10.

4.6.3 Laden van de bakken.

In het toekomstige systeem wordt gebruik gemaakt van halve Europa II bakken. Deze bakken kunnen maximaal 80 TEU's vervoeren, dit in verband met eventuele stabiliteitsproblemen die kunnen optreden bij het laden van meer TEU's. (hetgeen uiteraard afhankelijk is van de zwaarte van de TEU's in de derde en vierde laag). Voor een indeling per laag van een halve Europa II bak :

Zie bijlage ; hoofdstuk 4, blz 11.

De studie naar het gebruik van de optimale bak in dit nieuwe transportsysteem is verricht door de heer dr.ir.A.M. Hamdy.

Hoofdstuk 5 : Opbouw van het model.

5.1 Algemeen.

In dit hoofdstuk volgt een beschrijving van het Shuttle-model. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 11 in deel II.

Het model bevat twee singuliere-componenten, te weten :

- CONTGENERATOR ; generator van TEU's voor elke terminal op de verschillende dagen van de week.
- OPERATOR ; Regelt het terugsturen van lege bakken van Antwerpen naar de drie verschillende terminals te Rotterdam a.g.v. de discrepantie in TEU's tussen Rotterdam en Antwerpen. Deze component is later toegevoegd aan het model
(zie tevens hoofdstuk 6, § 6.1.1)

Het simulatiemodel bevat verder de volgende klasse-componenten :

- D(1-4)DUWB ; de duwbotten 1 t/m 4 die in de vier verschillende vaargebieden opereren.
- TERMMAST ; de terminalmasters die de processen op de vijf verschillende terminals in het model regelen.
- BRGE ; de bakken die in het systeem aanwezig zijn en de TEU's van overslaggebied (herkomst) naar overslaggebied (bestemming) transporteren.

5.2 Component CONTGENERATOR.

De containergenerator genereert containers (TEU's) voor elke terminal in het model. Het gemiddeld containeraanbod per terminal verschilt per terminal per dag van de week. (zie hiervoor tevens hoofdstuk 4, § 4.6). Uit de verstrekte gegevens kon echter niet worden opgemaakt op welke manier het gemiddelde containeraanbod per terminal verdeeld is. Daarom is in het model voor het containeraanbod op de terminal in eerste instantie voor een uniforme verdeling gekozen.

5.3 Component OPERATOR.

De discrepantie die er bestaat in het transport van hoeveelheden TEU's per dag tussen Rotterdam en Antwerpen heeft als gevolg dat lege bakken teruggebracht moeten worden naar de haven van Rotterdam. De operator beslist naar welk overslaggebied (in het totaal drie) in Rotterdam de lege bakken gezonden zullen worden. Daartoe checkt de operator het aantal bakken dat de overslaggebieden in voorraad hebben. De operator checkt tevens het aantal bakken dat elke terminal in Rotterdam de volgende dag nodig heeft (een dag vooruit anticiperen op de behoefte). Tevens wordt rekening gehouden met het aantal bakken dat al onderweg is naar ieder overslaggebied. De OPERATOR maakt uit al deze gegevens de balans op en geeft aan de lege bak een bestemming mee (terminal 1, terminal 2 of terminal 3). Zijn stationaire omstandigheden bereikt, dus een evenwichtige situatie in de beide havengebieden waarbij de voorraad bakken op de terminals op iedere dag toereikend is, dan bepaalt de operator de bestemming van de lege bak aan de hand van percentages (zie hiervoor tevens hoofdstuk 6, § 6.1.1)

5.4 De klasse-componenten D(1-4)DUWB.

De duwbotten in het model varen ieder een eigen traject. Om de verschillende duwbotten op elk moment gemakkelijk terug te kunnen vinden in het model, wordt iedere duwboot altijd opgeslagen in een QUEUE. Dit wil echter niet zeggen dat ze in een rij stilliggen. Er is onderscheid gemaakt in vaarruimten (D1SAILQ[1], D2SAILQ[3], D3SAILQ[3], D4SAILQ[3]) en wacht-ruimten (ROTTPQ, ANTWPQ, TERM1, TERM2, TERM3, TERM4, en TERM5). De cijfers tussen haakjes geven het aantal trajecten aan dat per duwboot gevaren kan worden.

5.4.1. Duwboot 1.

Duwboot 1 (D1DUWB) vaart tussen terminal 1 (het gemeenschappelijke overslaggebied in het westelijke gedeelte van Rotterdam) en de parking van Rotterdam. De duwboot kan maximaal twee bakken met TEU's meenemen. Wacht de duwboot op de parking van Rotterdam

dan bevindt hij zich in ROTTPQ. Varend van de parking naar terminal 1 en van terminal 1 naar de parking bevindt de duwboot zich in de D1SAILQ[1]. Wachtend op terminal 1 verblijft de duwboot in TERM1.

Zie bijlage ; hoofdstuk 5, blz 1.

5.4.2. Duwboot 2.

Duwboot 2 (D2DUWB) vaart tussen de parking van Rotterdam en terminal 2 ,tussen terminal 2 en terminal 3 of tussen terminal 3 en de parking. Duwboot 2 kan maximaal twee bakken vervoeren. Indien de duwboot wacht op de parking bevindt hij zich in ROTTPQ. Varend van de parking naar terminal 2 respectievelijk terminal 3 verblijft de duwboot in D2SAILQ[1] resp. D2SAILQ[3]. Wanneer de duwboot zich in het vaargebied tussen terminal 2 en terminal 3 bevindt, dan verblijft de duwboot in D2SAILQ[2]. Wachtend op terminal 2 of terminal 3 bevindt de duwboot zich in de rijen TERM2 en TERM3.

Zie bijlage ; hoofdstuk 5, blz 1.

5.2.3. Duwboot 3.

Tussen de parking van Rotterdam en de parking van Antwerpen varen vier duwboten. Iedere duwboot is in staat vier bakken te vervoeren. Duwboot 3 (D3DUWB) bevindt zich in ROTTPQ wanneer hij op de parking van Rotterdam moet wachten en in ANTWPQ wanneer dit het geval is op de parking van Antwerpen. Bevindt de duwboot zich in een van beide sluizen dan verblijft de duwboot in VOLKRQ resp.KREEKRQ. Vaart de duwboot in een van de drie gebieden tussen de parkings van beide havengebieden (parking Antwerpen-Kreekraksluis, Kreekraksluis-Volkeraksluis of Volkeraksluis-Parking Rotterdam) dan verblijft de duwboot in D3SAILQ[1], D3SAILQ[2] en D3SAILQ[3].

Zie bijlage ; hoofdstuk 5, blz 2.

5.4.4. Duwboot 4.

Duwboot 4 (D4DUWB) vaart in de haven van Antwerpen. De trajecten die de duwboot kan afleggen zijn de vaargebieden tussen de parking en terminal 4 of terminal 5 en het vaargebied tussen de beide terminals. De duwboot kan maximaal twee bakken transporteren. In het havengebied van Antwerpen varen twee duwbotten. Op de parking van Antwerpen bevindt de duwboot zich in ANTWPQ. Vaart de duwboot tussen de parking van Antwerpen en terminal 4 dan bevindt de duwboot zich in D4SAILQ[1]. Als de duwboot tussen de beide terminals vaart dan verblijft de duwboot in D4SAILQ[2]. De duwboot bevindt zich in D4SAILQ[3] als hij vaart tussen de parking van Antwerpen en terminal 5. Zie bijlage ; hoofdstuk 5, blz 2.

5.5 Klasse-component TERMMAST.

Aan elke terminal in het model is tevens een terminalmaster toegevoegd. De terminalmaster regelt de processen die zich afspelen op de terminal. Deze processen zijn :

- Het opvragen van het containeraanbod dat verscheept moet worden op een bepaalde dag van de week (van de CONTGENERATOR).
- Het aantal bakken bepalen dat nodig is om het aanbod van containers te kunnen vervoeren.
- Het bepalen van de beladingsgraad voor elke geladen bak.
- Het meegeven van een voorlopige bestemming aan de lege bakken (alleen Antwerpen) zodat ze terug naar Rotterdam vervoerd worden. (de definitieve bestemming wordt bepaald door de OPERATOR).
- De geladen bakken activeren in het proces BARGE.

5.6 Klasse-component BRGE.

De enige taak van deze klasse-component, die een directe relatie heeft met de terminalmaster is de geladen bakken op een terminal een nieuwe bestemming geven. Bakken die geladen zijn in Rotterdam moeten een bestemming krijgen in de haven van Antwerpen (terminal 4 of terminal 5) en bakken die in Antwerpen geladen zijn moeten

een bestemming krijgen in de haven van Rotterdam (terminal 1, terminal 2 of terminal 3). Doordat het gemiddeld containeraanbod niet gelijk is voor elke terminal in het model, is ook de gemiddelde behoefte aan bakken niet gelijk voor elke terminal in een van beide havengebieden. Uit het verschil in gemiddelde behoefte tussen terminals per havengebied kunnen verhoudingen berekend worden. De verhouding (percentage) van een terminal geeft dan de gemiddelde behoefte aan bakken weer t.o.v. de andere terminals in het havengebied. Met behulp van de percentages wordt dan de bestemming van de beladen bak bepaald.

Hoofdstuk 6 : Strategieën en Gevoeligheidsanalyse.

6.1 Algemeen.

In dit hoofdstuk zullen allereerst de strategieën besproken worden die uitgedacht zijn tijdens de bouw van het model.

Strategie :

Het variëren of aanpassen van de procesbeschrijving van een component op een dusdanige wijze dat de werkelijkheid zo reëel mogelijk benaderd wordt.

Tijdens de bouw van het simulatiemodel zijn strategieën bedacht voor de volgende punten :

- Het terugsturen van lege bakken.
- Het varen van de verschillende duwbotten.

Voor het simulatiemodel zijn ook enige gevoeligheden getest. Bij de gevoeligheidsanalyse is als volgt te werk gegaan. Voor het jaar 1991 is er met een ongewijzigd model 350 werkdagen gesimuleerd (het model dat na het inbouwen van de strategieën ontstaan is). Per gevoeligheid is ook 350 werkdagen gesimuleerd met dezelfde seeds voor de random streams, hetgeen wil zeggen dat het aanbod van TEU's op de terminals in het model precies hetzelfde is gebleven (voor dit aanbod van containers over de week zie ook hoofdstuk 4, paragraaf 4.6). De parameters die van belang zijn voor een gevoeligheid zijn daarbij weergegeven in tabelvorm. Uit de verschillen met de parameters van het basismodel zijn vervolgens conclusies getrokken en het simulatiemodel is eventueel bijgesteld.

De volgende parameters zijn gebruikt ter bepaling van de strategieën en bij het testen van gevoeligheden in het model :

- btotaal ; het totaal aantal bakken dat het simulatiemodel nodig heeft om te kunnen functioneren. Een tekort aan bakken wordt aangevuld door de terminalmaster op de terminal. Uit het verloop van btotaal is af te leiden of en wanneer in het systeem stationaire omstandigheden zijn bereikt.
- bturnaround ; hiermee wordt de transporttijd aangeduid van de container, dus de tijd dat een container onderweg is van oorsprong (vertrekpunt van de container) tot en met bestemming (aankomstpunt van de container). Bturnarroud 90% geeft de tijdsduur van de container weer met een onderschreidingskans

van 90%, dus de transporttijd waarbinnen de container op zijn bestemming is gearriveerd met een zekerheid van 90%.

- d[1-4]bezettingsgraad ; geeft aan in procenten hoeveel tijd van de totale simulatietijd de duwboden 1 t/m 4 aan het varen zijn.
- park1 ; in deze wachtrij op de parking van Rotterdam worden bakken geplaatst met bestemming terminal 1. Van belang is de grootte van deze wachtrij tijdens de simulatie.
- park23 ; in deze wachtrij op de parking van Rotterdam worden bakken geplaatst met bestemming terminal 2 of terminal 3. Van belang is de grootte van deze wachtrij tijdens de simulatie.
- park45 ; in deze wachtrij op de parking van Antwerpen worden bakken geplaatst met bestemming terminal 4 of terminal 5. Van belang is de opnieuw de grootte van deze wachtrij tijdens de simulatie.
- parkr ; alle bakken die van Rotterdam naar Antwerpen vervoerd moeten worden, worden in deze wachtrij geplaatst. De wachtrij maakt onderdeel uit van de parking Rotterdam. Van belang is opnieuw de grootte van deze wachtrij tijdens de simulatie.
- parka ; alle bakken die van Antwerpen naar Rotterdam vervoerd moeten worden, worden in deze wachtrij geplaatst. De wachtrij maakt onderdeel uit van de parking Antwerpen. Van belang is opnieuw de grootte van deze wachtrij tijdens de simulatie.

Het verloop van aantallen bakken in de wachtrijen op de twee parkings geeft tevens een goede indicatie over de capaciteit van de verschillende duwboden in het systeem.

- beladingsgraad ; het beladen zijn met TEU's t.o.v. het maximum aantal dat een bak kan vervoeren (80 TEU's).
- T1bakken ; het gemiddeld aantal bakken per dag dat op terminal 1 beladen wordt over het jaar 1991.
- T2bakken ; het gemiddeld aantal bakken per dag dat op terminal 2 beladen wordt over het jaar 1991.
- T3bakken ; het gemiddeld aantal bakken per dag dat op terminal 3 beladen wordt over het jaar 1991.
- T4bakken ; het gemiddeld aantal bakken per dag dat op terminal 4 beladen wordt over het jaar 1991.
- T5bakken ; het gemiddeld aantal bakken per dag dat op terminal 5 beladen wordt over het jaar 1991.
- Aant.ver.bakken ; het aantal bakken dat over

het jaar 1991 vervoerd is door het systeem (inclusief lege bakken)

- Pass.tijd Volk ; De tijd dat duwboot 3 nodig heeft om deze sluis te passeren.
- Pass.tijd Kreek ; De tijd dat duwboot 3 nodig heeft om de sluis te passeren.

6.1 Strategieën voor het Shuttle-systeem.

6.1.1 Terugzenden van lege bakken.

De eerste strategie die uitgedacht moet worden is de manier waarop lege bakken vanuit Antwerpen naar Rotterdam teruggezonden zullen worden (door de discrepantie in het vervoer van containers tussen de beide havengebieden). Voor het bepalen van de beste strategie is een simulatiemodel als uitgangspunt gekozen met een variërend aantal bakken in het systeem.

Een variërend aantal bakken in het systeem wil zeggen dat indien op een bepaald moment tijdens de simulatie minder bakken aanwezig zijn op de terminal dan nodig zijn om het aanbod van containers te kunnen verschepen de mogelijkheid wordt geboden voor de terminalmaster om extra bakken te creëren. Zodoende kan het tekort aan bakken op de terminal aangevuld worden en zijn dus weer voldoende bakken aanwezig om het aanbod van containers te kunnen verschepen.

De juiste strategie voor het terugsturen van lege bakken is nu beoordeeld op het totaal aantal bakken dat tijdens de simulatie in het systeem aanwezig zijn (btotaal). Bij een goede strategie namelijk zal het aantal bakken in het systeem neigen naar stationaire omstandigheden, een evenwichtige situatie in de beide havengebieden waarbij op elk moment tijdens de simulatie voldoende bakken in voorraad zijn op de terminals.

Om tot de juiste strategie te komen is als volgt te werk gegaan :

- I. Anticiperen op de gemiddelde behoefte per dag op de terminals in Rotterdam.
- II. Het toekennen van percentages aan de terminals in Rotterdam.
- III. Het creëren van een nieuwe component, de OPERATOR.

I.

Als eerste wordt geanticipeerd op de onmiddellijke gemiddelde dagelijkse behoefte op de drie terminals in Rotterdam. Daartoe wordt gekeken wat de voorraad bakken is op elke terminal. De voorraad wordt vergeleken met de onmiddellijke dagelijkse behoefte aan bakken en indien uit het vergelijk blijkt dat er een tekort is aan bakken op de terminal, krijgt de terminal een lege bak toegezonden.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 1.

Verklaring :

De terminals in Rotterdam krijgen nu bakken toebedeeld indien er vraag naar bakken is. Het gevolg is dus dat na een bepaalde simulatieperiode stationaire omstandigheden bereikt moeten worden. Dit is zien in de grafiek die het totaal aantal bakken in het systeem weergeeft (Baantal).

Conclusie :

Het anticiperen op de onmiddellijke behoefte aan bakken op de terminals in Rotterdam is een goede oplossing en zal worden opgenomen in het model.

II.

Wat wordt nu de bestemming van de lege bak indien op een bepaald moment tijdens de simulatie blijkt dat er op twee terminals (of alle drie de terminals) in Rotterdam een gelijk tekort aan bakken is, m.a.w. welke terminal krijgt bij een gelijke behoefte aan bakken op een bepaald moment tijdens de simulatie voorrang in het toegezonden krijgen van de lege bak. Daartoe is overgegaan tot het toekennen van percentages aan elke terminal in Rotterdam. Doordat het gemiddeld containeraanbod niet gelijk is voor de terminals in Rotterdam, is ook het gemiddelde behoefte aan bakken niet gelijk voor elke terminal. Uit het verschil in gemiddelde behoefte tussen de drie terminals kunnen verhoudingen berekend worden. De verhouding (percentage) van een terminal geeft dan de gemiddelde behoefte aan bakken weer t.o.v. de andere terminals. Met behulp van de percentages wordt dan de bestemming van de lege bak bepaald. Een voorbeeld in deze is :

Wordt aan terminal 1 een percentage van 0.5 toegekend dan betekent dit in feite dat de kans een half is t.o.v. de andere twee terminals dat

de lege bak naar terminal 1 gezonden wordt.
De percentages zijn als volgt berekend :

$$\frac{\text{gem.behoefteaanbakken/dag}(T)}{\text{gem.behoefteaanbakken/dag}(T1+T2+T3)}$$

T1 : terminal 1
T2 : terminal 2
T3 : terminal 3
T : terminal 1, 2 of 3

Resultaten :
Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 2.

Verklaring :
De lege bakken krijgen op een nog efficiëntere wijze een bestemming toebedeeld. Het gevolg is dat veel eerder in de simulatie stationaire omstandigheden optreden (hetgeen volgt uit het feit dat halverwege de simulatierun, na 4008 uur, een evenwichtige situatie is opgetreden). De terminals hebben in de verdere simulatie op elk moment genoeg bakken. Er hoeven dus ook geen bakken meer gecreëerd te worden door de terminalmaster.

Conclusie :
De berekende percentages zullen worden gebruikt in het model.

III.

De module OPERATOR wordt in het model opgenomen. Voor de betekenis van deze module wordt verwezen naar hoofdstuk 5, § 5.3.

De operator neemt het totale proces van het terugsturen van lege bakken voor zijn rekening. De taken van de OPERATOR zijn nu :

- De voorraad bakken checken op elke terminal in Rotterdam.
- Informeren naar het aantal bakken dat de terminals in Rotterdam de volgende dag nodig hebben, m.a.w. anticiperen op de behoefte aan bakken een dag vooruit.
- Rekening houden met het aantal bakken dat al onderweg is naar de terminals in Rotterdam.
- De balans opmaken en de lege bak zijn bestemming geven.

Resultaten :
Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 3.

Verklaring :

Doordat niet eerder dan op de parking van Rotterdam de bestemming bepaald wordt van de lege bakken is het mogelijk nog beter in te spelen op het tijdsafhankelijke aanbod per dag op de terminals in de haven van Rotterdam. Bakken die onderweg zijn naar een van de drie terminals in Rotterdam hebben nog slechts een kort traject af te leggen. Bovendien wordt nu ingespeeld op het aanbod van containers de volgende dag en daarmee de behoefte aan bakken de volgende dag. Hierdoor hebben de terminals al in een vroeg stadium tijdens de simulatie elke dag voldoende bakken in voorraad zodat bijplaatsen van bakken door de terminalmaster niet meer nodig is. De stationaire toestand van het systeem is ingetreden. Het een en ander uit zich door het verloop van baantal. In de grafiek is te zien dat nog slechts 77 bakken door het systeem worden gebruikt en baantal bovendien mooi afvlakt.

Conclusie :

De module OPERATOR zal in het model worden opgenomen.

Nu is een nieuw simulatiemodel ontstaan waarin de uiteindelijke strategie voor het terugsturen van bakken is opgenomen (de operator).

6.1.2 Het varen van de verschillende duwboten.

De strategie voor de duwboten in het model heeft als doel op een zo optimaal mogelijke manier service te verlenen aan de bakken beladen met TEU's. Dit om de transporttijd van de bakken (bturnaround) zo kort mogelijk te houden. Zodra een bak met TEU's zich aanbiedt op een terminal of een parking om verscheept te worden vaart de duwboot, al zal dat inhouden dat de duwboot een vaartraject soms zonder bakken of maar met een bak zal moeten afleggen.

In de volgende runs zal hiervan worden afgeweken zal met een maximum aantal bakken per duwboot worden gevaren.

I.

De duwboten in het systeem varen pas een traject indien het maximum aantal bakken dat ze kunnen vervoeren meegenomen worden, zowel op de parking als op de terminal. (duwboot 1, duwboot

2 en de duwboden 4 twee bakken en de duwboden 3 vier bakken). Gecheckt wordt dus of het wel zinvol is de duwboden te laten varen zodra een bak of meerdere bakken zich aanbieden.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 4.

Verklaring :

De simulatie wordt afgebroken omdat op de terminals in het model te veel beladen bakken niet verscheppt worden door de duwboden. Ook op de twee parkings in Rotterdam en Antwerpen neemt het aantal wachtende bakken toe. Het aanbod van bakken die getransporteerd moeten worden is te groot voor het aantal varende duwboden in het systeem.

Conclusie :

Er zullen meer duwboden ingezet moeten worden om de stroom bakken in het systeem te kunnen verwerken. Bovendien is het serviceniveau van de operators naar de klanten toe belabberd. Dit is een slechte en inefficiënte oplossing, daar ook de bezettingsgraad van de duwboden vrij laag is.

II.

Gecontroleerd wordt of het van veel invloed is indien de duwboden op de terminals blijven wachten totdat het maximum aantal bakken dat ze kunnen verschepen kan worden meegenomen.

Vanaf de beide parkings (Rotterdam en Antwerpen) wordt door de duwboden vertrokken, onafhankelijk van het aantal bakken dat ze kunnen meenemen.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 5.

Verklaring :

Doordat de duwboden pas kunnen vertrekken vanaf de terminals in de beide havengebieden Rotterdam en Antwerpen nadat twee bakken zijn vastgekoppeld zullen de bakken die door duwboot 3 op de beide parkings afgeleverd worden steeds langer moeten wachten voordat ze verder getransporteerd worden naar de terminals. De duwboden 1, 2 en 4 wachten een groot gedeelte van hun tijd op de terminals, vandaar dat hun bezettingsgraad afneemt.

Conclusie :

Alleen door meer duwboden in te zetten in de havengebieden Rotterdam en Antwerpen kunnen de stromen containers in het systeem verwerkt

worden. De bezettingsgraad van de duwboten is opnieuw vrij laag zodat de oplossing is niet erg efficiënt is. Voor deze strategie voor de duwboten zal dan ook niet worden gekozen.

6.2 Gevoeligheidsanalyse Shuttle-model.

Voor het testen van het model op gevoeligheden is een basismodel als uitgangspunt genomen dat ontstaan is na het inbouwen van strategieën. De gevoeligheden die getest zijn zullen worden vergeleken met dit basismodel. Indien uit de gevoeligheid blijkt dat aanpassingen of wijzigingen in het model noodzakelijk zijn zal dit vermeld worden in de tekst.

Voor de parameters van het basismodel :
Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 6.

De volgende gevoeligheden zullen worden behandeld :

- De passeertijden door de Volkeraksluis en de Kreekraksluis.
- Het variëren van het aantal duwboten in het model.
- Het onderling variëren van het containeraanbod tussen terminal 4 en terminal 5.
- Normale verdeling i.p.v. een uniforme verdeling gebruiken voor het containeraanbod op de terminals.
- Een dienstregeling voor het vaartraject Rotterdam-Antwerpen.
- Een model met een vast aantal bakken in het systeem.

6.2.1 De passeertijden door de Volkeraksluis en de Kreekraksluis.

In hoofdstuk 4, paragraaf 4.5 is geconcludeerd dat passeertijden door de beide sluizen in het model langer dan een uur te wijten zijn aan buitengewone omstandigheden. Bij slechts een heel klein percentage duwboten is de passeertijd langer dan een uur. Om te testen wat nu de invloed is van het percentage duwboten met een passeertijd langer dan een uur door de beide sluizen zijn ook de langere passeertijden meegenomen in het model.

Resultaten :

Zie bijlage; hoofdstuk 6, blz 7.

Verklaring :

Doordat de duwboten 3 nu gemiddeld iets langer varen over het traject tussen de parking van Rotterdam en Antwerpen neemt de bezettingsgraad van de duwboten 3 iets toe. De gemiddelde passeertijd van de Volkeraksluis en de Kreekraksluis nemen natuurlijk ook toe doordat langere passeertijden nu zijn meegenomen in het model. Hierdoor doet een container ook iets langer over zijn herkomst- bestemmingstraject, maar de stijging van de transporttijd is nihil. De rest van de waarden van het model worden nauwelijks beïnvloed. De oorzaak dat de langere passeertijden van beide sluizen uiteindelijk een verwaarloosbare invloed hebben op het systeem is gelegen in het feit dat maar een heel klein percentage van de passeertijden langer is dan een uur.

Conclusie :

Het percentage duwboten met een passeertijd langer dan een uur voor de beide sluizen heeft een verwaarloosbaar kleine invloed op de resultaten en hoeft dus niet meegenomen te worden in het model. Besloten is echter de langere passeertijden in het model te laten staan.

6.2.2 Variëren van het aantal duwboten in het systeem.

Van belang is het te weten of het aantal duwboten in het systeem niet aan de hoge kant is. Op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen zijn vier duwboten ingezet. Gecheckt wordt nu of met slechts drie duwboten 3 gevaren kan worden.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 8.

Verklaring :

De toename van de transporttijd van de container (bturnaround) is nihil doordat de bezettingsgraad van de duwboten op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen voldoende reserve in zich heeft is en niet drastisch toeneemt. Dit blijkt uit de nieuwe waarde van de bezettingsgraad van duwboot 3. Blijkbaar wordt met de inzet van vier duwboten dermate weinig gevaren dat de stroom bakken ook met gemak door drie duwboten verwerkt kan worden.

Conclusie :

Uit de resultaten blijkt dat het systeem het varen met slechts drie duwboten 3 goed aan kan. Daarom zullen in het vervolg slechts drie duwboten ingezet worden op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen. De minimale toename van de transporttijd van de container (bturnaround) weegt niet op tegen de toename van de kosten bij het inzetten van een extra duwboot op dit vaartraject.

II.

Op het vaartraject tussen Rotterdam en Antwerpen worden nu slechts twee duwboten ingezet in plaats van drie duwboten.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 9.

Verklaring :

Duwboot 3 zit nu op zijn maximale capaciteit omdat naast het varen de resterende tijd gebruikt wordt door loskoppelen en vastkoppelen van bakken. De duwboten 3 kunnen hierdoor de stroom bakken in het systeem niet meer helemaal verwerken zodat de rijen op de parkings in Rotterdam en Antwerpen drukker bezocht zijn. Het gevolg is dat bakken langer moeten wachten voordat ze door de duwboten 3 verscheept worden. Vandaar ook de toename van de transporttijd van de container (bturnaround.)

Hierdoor neemt het aantal bakken in het systeem ook toe daar de terminals later de bakken toegeleverd krijgen en dus bakken gaan bijplaatsen op de terminals.

Conclusie :

Aangezien de duwboten 3 geen tijdreserve meer hebben is ook geen tijdreserve meer aanwezig voor vervoer van grotere aantallen TEU's per jaar dan de 420000 TEU's over 1991 met dit systeem. Bij het handhaven van twee duwboten op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen verschilt het serviceniveau nog maar weinig met de huidige situatie, m.a.w. de capaciteit van de duwboten is te klein. Het inzetten van drie duwboten op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen zal dan ook gehandhaafd worden.

III.

Gecheckt wordt of het mogelijk is slechts een duwboot in te zetten in het havengebied van Antwerpen. In het basismodel opereren twee duwboten 4.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 10.

Verklaring :

De simulatie wordt afgebroken. De tijdreserve van duwboot 4 is te klein om de stroom bakken te kunnen verwerken. Het gevolg is dat de rij met wachtende bakken op de parking van Antwerpen steeds groter wordt. Bturnarround neemt fors toe, als gevolg van de langere wachttijden in het Antwerpse havengebied (op de parking en de terminals).

Conclusie :

In het simulatiemodel blijft het inschakelen van twee duwboten 4 in het Antwerpse havengebied gehandhaafd.

6.2.3 Het onderling variëren van het containeraanbod tussen terminal 4 en terminal 5.

Door gebrek aan gegevens over het havengebied Antwerpen is als uitgangspunt gekozen voor een gelijk aanbod van containers (TEU's) per dag van de week voor de beide overslaggebieden in Antwerpen (hoofdstuk 4, paragraaf 4.6). Gecheckt wordt hoe het model reageert op een containeraanbod (TEU's) per dag van de week van terminal 4 dat twee maal zo groot is als het aanbod van terminal 5.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 11.

Verklaring :

Een logische verklaring is voor bovenstaande waarden nauwelijks te geven. Door een ander aanbod op de beide overslaggebieden in de haven van Antwerpen zullen de duwboten de vaartrajecten in het havengebied ook anders kiezen. Waarschijnlijk vaak met slechts een bak naar of van terminal 5 en naar of van terminal 4 met twee bakken. Waarschijnlijk neemt hierdoor de gemiddelde waarde van bturnarround (de transporttijd van de container) iets toe, maar de toename is verwaarloosbaar klein.

Conclusie :

Voor het werkelijke aanbod per dag van de week op beide overslaggebieden in Antwerpen zal nader onderzoek verricht moeten worden. Het gelijke aanbod per dag van de week op terminal 4 en terminal 5 wordt dan ook gehandhaafd.

6.2.4 Normale verdeling i.p.v. een uniforme verdeling voor het containeraanbod op de terminals.

Bij het genereren van containers (TEU's) voor elke dag van de week op de terminals is als uitgangspunt gekozen voor een uniforme verdelingsfunctie (zie hoofdstuk 4, paragraaf 4.6). Deze uniforme verdeling is slechts een aanname daar gegevens ontbreken over de ware verdeling van het aanbod containers op de terminals in Rotterdam en in Antwerpen. Tevens ontbreken voldoende gegevens om een standaard afwijking te kunnen berekenen. Omdat een uniforme verdeling voor het containeraanbod op de terminals een uitgangspunt is geweest in het model wordt in deze paragraaf een normale verdeling gebruikt voor het containeraanbod op de terminals. De deviatie (of standaardafwijking) wordt daarbij procentueel opgevoerd t.o.v. het gemiddelde containeraanbod. Gecontroleerd wordt hoe de transporttijd van de container reageert op :

- Een deviatie van 10% t.o.v. het gemiddelde.
- Een deviatie van 20% t.o.v. het gemiddelde.
- Een deviatie van 30% t.o.v. het gemiddelde.
- Een deviatie van 50% t.o.v. het gemiddelde.
- Een deviatie van 60% t.o.v. het gemiddelde.
- Een deviatie van 80% t.o.v. het gemiddelde.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6. blz 12.

Verklaring :

Door een toenemende standaard afwijking in het aanbod van containers (TEU's) op een terminal zullen de duwboten een steeds onregelmatiger stroom bakken te verwerken krijgen. Bij een groot aanbod van bakken op een dag is het mogelijk dat de duwboot de stroom bakken niet volledig kan verwerken binnen die dag. Wanneer het aanbod van bakken de volgende dag minder is heeft de duwboot de gelegenheid om de opgelopen achterstand van de vorige dag te compenseren. Is het aanbod op de terminal de volgende dag echter haast even groot als de dag ervoor of zelfs groter zullen zich wachtrijen vormen op de terminals en de parkings van bakken. Het

gevolg is een toename van de transporttijd van de container (bturnaround). Ook in de wachttijdtheorie is het verschijnsel bekend dat indien gewerkt wordt met verdelingen met grotere deviaties de wachttijden zullen toenemen [6]. Wordt de standaard afwijking t.o.v. het gemiddelde per dag van de week dus nog groter genomen voor elke terminal zal ook bturnaround verder toenemen.

Conclusie :

De manier waarop het aanbod van containers is verdeeld per dag van de week heeft wel degelijk invloed op het nieuwe transportsysteem. Een deviatie tot 60% t.o.v. het gemiddelde van de dag kunnen echter door het systeem goed worden verwerkt. De transporttijd van de container neemt daarbij maar weinig toe. Nader onderzoek zal verricht moeten worden omtrent de ware verdeling van het containeraanbod op terminals.

6.2.5 Een dienstregeling voor het vaartraject Rotterdam-Antwerpen.

Onderzocht wordt in deze paragraaf of het instellen van een dienstregeling op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen een gunstige invloed heeft op de transporttijd van de container. In het basismodel is het varen van de duwbotten op dit traject afhankelijk gesteld van het aanbod van bakken op de beide parkings. Het vertrekken vanaf de beide parking op vaste tijden biedt naast zekerheid tevens het voordeel dat de duwbotten die in de beide havengebieden opereren rekening kunnen houden met deze vaste vertrektijden. Voorwaarde is dan wel dat de bakken die op tijd arriveren op de beide parkings ook meteen verder verscheept kunnen worden en niet alsnog moeten wachten op de komst van de volgende duwboot.

Resultaten :

bturnaround ; gem.: 40.8 uur.

90% : 88.3 uur.

95% : 98.9 uur.

Zie tevens bijlage ; hoofdstuk 6, blz 13.

Verklaring :

Doordat het aanbod van containers op een dag onderhevig is aan toevalsfluctuaties en de duwbotten in de beide havengebieden afhankelijk van dit aanbod varen, worden bakken onregelmatig afgeleverd op de parking van Rotterdam en Antwerpen. De duwbotten 3 varen door de dienst-

regeling onafhankelijk van het aanbod op de beide parkings. Uit de figuren van wachtrijen op de beide parking kan worden geconcludeerd dat de duwbotten vrijwel altijd afvaren met vier bakken (het maximum aantal bakken dat ze kunnen verschepen). Tevens komt het regelmatig voor dat een of enkele bakken alsnog moeten wachten op de komst van een andere duwboot. Dit verklaard ook de toegenomen transporttijd van de container.

Conclusie :

Indien er van wordt uitgegaan dat alle aangeboden bakken moeten kunnen worden meegenomen (het doel van de dienstregeling) zijn meer dan drie duwbotten nodig op dit vaartraject.

Een dienstregeling met de inzet van drie duwbotten is dan ook geen efficiënte oplossing.

6.2.6 Model met een constant aantal bakken in het systeem.

Tot nu toe is gewerkt met een model waarin bakken bijgeplaatst (gecreëerd) kunnen worden door de terminalmaster. Dit bijplaatsen van bakken op een terminal gebeurt zodra de terminalmaster aan het begin van de dag constateert dat het aantal bakken dat hij in voorraad heeft kleiner is dan het aantal bakken dat nodig is om het containeraanbod voor die dag te verschepen. Het model werkt dus met een variabel aantal bakken in het systeem. Uit het basismodel blijkt dat het aantal bakken in het model dan convergeert naar 78 bakken (zie hiervoor tevens hoofdstuk 6, § 6.2.2 en de bijlage hoofdstuk 6, blz 8). In deze paragraaf wordt een model gecreëerd met een constant aantal bakken in het systeem. De mogelijkheid om op de terminals bakken te creëren (bij te plaatsen) bij een tekort aan bakken wordt nu weggenomen. Consequentie daarbij is wel dat op de terminals vertragingen kunnen optreden a.g.v. het eventuele tekort aan bakken. Wanneer treden nu vertragingen op de terminal? Daartoe wordt op de terminal een tijdstip gegenereerd waarop de ontbrekende bakken beladen hadden kunnen zijn. Voor de ontbrekende bakken is tevens een laadtijd aangenomen van drie uur. Deze laadtijd is arbitrair maar wel aan de ruime kant genomen. (er wordt rekening gehouden met het feit dat de bak eventueel van de kant moet door het arriveren van een zeeschip). Vertragingen op een terminal treden nu op indien het tijdstip van binnenkomst van de ontbrekende bakken minder

dan drie uur verwijderd is van het gegenereerde tijdstip waarop de bak beladen had kunnen zijn op de terminal.

Om de vertragingen die op de terminals kunnen ontstaan te registreren zijn nog enkele waarden toegevoegd aan het model :

- T1wachttijd ; dit is de totale tijd dat op terminal 1 vertragingen kunnen optreden als gevolg het te laat arriveren van een ontbrekende bak.
- T2wachttijd ; idem als hierboven maar dan voor terminal 2.
- T3wachttijd ; idem voor terminal 3.
- T4wachttijd ; idem voor terminal 4.
- T5wachttijd ; idem voor terminal 5.

Van belang is natuurlijk dat de vertragingen op de terminals voldoende klein blijven zodat het transportvolume van 420000 TEU's in 1991 verscheept kan worden. Tevens moet een transporttijd aan de container geleverd worden die niet of nauwelijks verschillen vertoont met de transporttijd van het model waarbij het aantal bakken in het systeem variabel is.

Deze twee voorwaarden worden als uitgangspunten genomen voor deze gevoeligheidsanalyse.

Het simulatiemodel met een vast aantal bakken heeft een bepaalde insteltijd nodig voordat stationaire omstandigheden zijn bereikt. Gekozen wordt de bakken te verdelen over de terminals bij het opstarten van het model. De reden hiervoor is dat de insteltijd hoger zou uitvallen bij het plaatsen van de bakken op de parkings, doordat de bakken dan eerst nog naar de terminals getransporteerd moeten worden alvorens de terminalmaster de bakken kan laden. Wanneer de bakken bij het opstarten van de simulatie al op de terminal liggen kan de terminalmaster direct beginnen met laden van bakken. De opstarttijd wordt hierdoor minder.

Als opstarttijd van het systeem is gekozen voor het tijdstip van de simulatie waarbij terminalmaster op terminal 4 en terminal 5 niet meer hoeven te wachten op bakken om het aanbod van TEU's voor die dag te kunnen vervoeren. Doordat meer bakken van Rotterdam naar Antwerpen verscheept worden dan van Antwerpen naar Rotterdam worden lege bakken teruggezonden naar Rotterdam (zie hiervoor paragraaf 6.1.1 van dit hoofdstuk). Voordat lege bakken in Antwerpen teruggestuurd kunnen worden moeten echter voldoende bakken in het Antwerpse havengebied aanwezig zijn. Tot het bereiken van een tijdstip waarbij het aantal bakken in Antwerpen kleiner is dan

het aantal bakken dat vol wordt teruggestuurd naar Rotterdam zal de terminalmaster op terminal 4 en terminal 5 ook moeten wachten op de aanlevering van bakken. Daarom is gekozen voor een opstarttijd van 100 uur.

I.

Uit het basismodel is gebleken dat het systeem 78 bakken nodig heeft. Daarom wordt gestart met 80 bakken in het systeem.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 14.

II.

Gecheckt wordt hoe het systeem functioneert met een constant aantal van 70 bakken in het systeem.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 14.

Zie tevens bijlage ; hoofdstuk 6, blz 16.

Verklaring :

Er blijkt nauwelijks verschil in de waarden van het model op te treden met basismodel. Het model heeft aan een constant aantal van 70 bakken voldoende om het gestelde transportvolume te kunnen verwerken. Dit blijkt tevens uit de wachttijden op de terminals die geen vertragingen veroorzaken. De transporttijd van de container ziet er ook goed uit.

Conclusie :

Een vast aantal van 70 bakken in het systeem is voldoende om het transportvolume over het jaar 1991 te kunnen verschepen en een transporttijd aan de container te leveren die niet afwijkt van het basismodel.

III.

Het constant aantal bakken in het systeem wordt verder teruggebracht naar 60 bakken.

Resultaten :

Zie bijlage ; hoofdstuk 6, blz 15.

Zie tevens bijlage ; hoofdstuk 6, blz 16.

Verklaring :

Ook nu blijkt het systeem nog goed te functioneren. De volumestroom van 420000 TEU's per jaar wordt nog bereikt. De wachttijden op de

terminals veroorzaken blijkbaar geen grote transport vermindering van het totaal aantal containers in een jaar.
De transporttijd wordt verder niet beïnvloed.

Conclusie :

Een systeem met een constant aantal van 60 bakken beantwoordt nog steeds aan de gestelde doelstellingen.

IV.

Gecheckt wordt nu hoe het systeem functioneert met een constant aantal van 50 bakken.

Resultaten :

Zie bijlage hoofdstuk 6, blz 15.

Zie tevens bijlage ; hoofdstuk 6, blz 16.

Verklaring :

Bij slechts 50 bakken in het systeem gaat het fout. De wachttijden op de terminals nemen fors toe en veroorzaken een dermate grote vertraging in het systeem dat het transportvolume van 42000 TEU's per jaar niet meer gehaald wordt. Dit uit zich ook in de afname van de bezettingsgraad van de duwboten die door vertragingen op de terminals minder bakken hoeven te verschepen. De doorstroom van bakken (van herkomst naar bestemming) kan zodoende sneller verlopen, hetgeen zich uit in de afname van de transporttijd van de container.

Conclusie :

Wanneer gestreefd wordt naar een systeem met een constant aantal bakken waarbij het transportvolume van 42000 TEU's goed verwerkt kan worden zullen de vertragingen op de terminals niet te groot mogen worden. Te grote vertragingen op de terminals (zoals het model met 50 bakken laat zien) belemmeren het totale transportvolume.

Het aantal bakken in een systeem waarbij de mogelijkheid tot het bijplaatsen van bakken op de terminals wordt uitgesloten wordt daarom voorzichtig geschat op 55 stuks.

Hoofdstuk 7 : Calibratie.

7.1 Algemeen.

Voor de calibratie van het Shuttle_systeem is het niet goed mogelijk het nieuwe vervoerssysteem te toetsten aan het huidige transportsysteem. De nieuwe manier voor het transporteren van containers verschilt in een groot aantal opzichten van het huidige systeem. De calibratie is uitgevoerd aan de hand van de volgende mogelijkheden :

1. Door middel van de "trace optie" die de simulatietaal PROSIM biedt is elke component in het model gecheckt op zijn functioneren.
2. Via een animatie van het simulatiemodel is het functioneren van elke duwboot in het model gecontroleerd.
3. Door middel van de "white_box methode". Via enkele handberekeningen zijn de voornaamste waarden die het systeem geeft gecontroleerd.

- ad 1) De "trace-optie" biedt voor de gebruiker de mogelijkheid iedere component in het model apart te bekijken tijdens een run. Zo is het mogelijk na te gaan wat de component tijdens de simulatie doet en welke waarden de attributen van de component aannemen. Op deze manier is gecontroleerd of aan het doel en de verwachting van de component in het model wordt voldaan.
- ad 2) Een animatie visualiseert de werking van het simulatiemodel. Via de animatie is gecontroleerd of elke duwboot op het juiste traject vaart, niet meer bakken vervoert dan het toegestane maximum, of de duwbotten ook daadwerkelijk gaan varen wanneer de mogelijkheid bestaat een bak met TEU's te verschepen en of het reserveren van bakken door de duwbotten 4 op de juiste manier geschiedt (het reserveren van bakken is door de animatie later toegevoegd aan het model).
- ad 3) "De white_box methode" zal hieronder worden gepresenteerd. De handberekeningen dienen slechts ter controle van de waarden die het model geeft.

7.2 Handberekeningen Shuttle model.

7.1.1 De terminals

Het systeem geeft voor de verschillende terminals in het model de volgende waarden omtrent het gemiddeld aantal bakken per dag dat over het 1991 beladen zijn met TEU's :
Zie bijlage ; hoofdstuk 7, blz 1.

I.

Eerst wordt gecontroleerd of het gemiddeld aantal bakken dat de terminal per dag belaad klopt met het hoofdstuk 4 bepaalde aanbod van containers (TEU's) per dag per overslaggebied. Nogmaals wordt het gemiddeld aantal TEU's per dag per terminal, het minimum aantal TEU's per dag van de week en het maximum aantal TEU's per dag van de week gepresenteerd:
Zie bijlage, hoofdstuk 7, blz 2.

Op eenvoudige wijze is nu na te gaan of de door het simulatiemodel bepaalde waarden kloppen. Wel dient rekening gehouden te worden met de beladingsgraad die door het systeem is bepaald (gemiddeld : $0.76 * 80 \approx 60$ TEU's per bak).
Zie bijlage, hoofdstuk 7, blz 2.

De met de hand berekende waarden blijken goed overeen te stemmen met de waarden van de simulatie.

II.

Nu wordt gecontroleerd of het aantal bakken dat per jaar verscheept wordt juist is. Uitgaan wordt van 350 werkdagen.
Zie bijlage, hoofdstuk 7, blz 3.

Door het havengebied van Rotterdam wordt dus getransporteerd :

$$\approx 12 (\approx 11.45) * 60 = 720 \text{ TEU's per dag}$$

Door het havengebied van Antwerpen wordt getransporteerd :

$$\approx 8 (\approx 7.75) * 60 = 480 \text{ TEU's per dag}$$

Per jaar worden getransporteerd :

$$\approx 1200 * 350 = 420000 \text{ TEU's/jaar 1991}$$

Het beladen aantal bakken dat per jaar wordt getransporteerd is :
Zie bijlage ; hoofdstuk 7, blz 3.

$$\approx (11.45 + 7.75) * 350 = 6755 \text{ bakken}$$

In het totaal worden 8030 bakken (vol en leeg) door het model getransporteerd. Dus het aantal lege bakken dat getransporteerd wordt over het jaar 1991 is :

$$\approx 8030 - 6755 = 1275 \text{ bakken}$$

Omerekend per dag levert dit :

$$\approx 1275 \div 350 = 3.6 \text{ lege bakken/dag}$$

Uit de waarden van het simulatiemodel blijkt dat het aantal lege bakken dat getransporteerd moet zijn is :

$$\approx 11.45 - 7.75 = 3.7 \text{ lege bakken/dag}$$

Het verschil ligt in de orde van 1.5% hetgeen acceptabel is gezien het random karakter van de te vervoeren containers.

7.2.2 Het aantal bakken dat in gebruik is.

In het model is een rij opgenomen waarin bakken (leeg of vol) worden geplaatst die gereed zijn voor vertrek naar hun bestemming. De rij wordt bgebruik genoemd. De bakken worden pas weer uit deze rij gehaald indien ze op hun bestemming zijn gearriveerd. De waarden die deze rij geeft nadat het simulatiemodel het jaar 1991 heeft gesimuleerd zijn :

bgebruik : gem. : 28.43 bakken (vol of leeg)

Gecontroleerd wordt nu of het gemiddeld aantal bakken dat per duwboot wordt verscheept plus het gemiddeld aantal bakken dat op de twee parkings ligt overeenkomt met het gemiddelde van bgebruik.

Zie bijlage, hoofdstuk 7, blz 4.

De gemiddelde waarden blijken goed overeen te komen met elkaar.

7.2.3 Bezettingsgraad van de duwboten.

Voor de bezettingsgraad van de verschillende duwboten geeft het simulatiemodel de volgende waarden :

Zie bijlage, hoofdstuk 7, blz 5.

I.

De duwboten 3 (drie duwboten) zullen de 8030 bakken (beladen met TEU's en leeg) allemaal moeten transporteren :

$$\approx 8030 \div 350 \div 3 = 7.7 \text{ bakken/dag/duwboot}$$

Dit betekent dat elke duwboot twee maal moet varen op een dag (de duwboot kan vier bakken vervoeren). De gemiddelde vaartijd van duwboot 3 is opgebouwd uit :

Rotterdam-Volkeraksluis	: gem. 2.75 uur
passage Volkeraksluis	: gem. 0.68 uur
Volkeraksluis-Kreekraksluis	: gem. 2.6 uur
Passage Kreekraksluis	: gem. 0.62 uur
Kreekraksluis-Antwerpen	: gem. 1.15 uur

totale vaartijd : gem. 7.81 uur

Het aantal uren dat duwboot 3 per jaar vaart :

$$\approx 7.81 * 2 * 350 = 5467 \text{ uur}$$

De bezettingsgraad van duwboot 3 is dus :

$$\approx 5467 \div 8400 = 65 \%$$

In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboten altijd vertrekken met vier bakken vanaf de parking. Dit blijkt tijdens de simulatie ook vrijwel altijd te geschieden.

II.

Voor de duwboten 4 (twee duwboten) die in de haven van Antwerpen opereren geldt de volgende handberekening :

$$\approx 8030 \div 350 \div 2 = 11.5 \text{ bakken/dag/duwboot}$$

Dit betekent dat elke duwboot zes maal moet varen op een dag (duwboot 4 kan maximaal twee bakken vervoeren).

De vaartijd van duwboot 4 is gemiddeld over de drie vaartrajecten :

Parking-terminal 4	: gem. 1 uur
Parking-terminal 5	: gem. 2 uur
Parking-terminal 4-terminal 5	: gem. 2 uur
parking terminal 5-terminal 4	: gem. 3 uur

totale vaartijd	: gem. 2 uur

Het aantal uren dat duwboot 4 vaart per jaar :

$$\approx 6 * 2 * 350 = 4200 \text{ uur}$$

De bezettingsgraad van duwboot 4 is dus :

$$\approx 4200 \div 8400 = 50 \%$$

Uit tabel 7.2.2 in de bijlage, hoofdstuk 7, blz 4 blijkt ook dat duwboot lang niet altijd met twee bakken vaart. Dit komt doordat de strategie van de duwbotten gebaseerd is op het zo optimaal mogelijk service verlenen aan de bakken die gereed liggen om getransporteerd te worden. Consequentie daarbij is dan wel dat de duwbotten vaker slechts met een bak of zelfs zonder bakken varen. De bezettingsgraad van de duwboot wordt hierdoor automatisch hoger zoals de waarde van het model ook laat zien. Bovendien doet de duwboot soms twee terminals achter elkaar aan waardoor de vaartijd en dus de bezettingsgraad ook toeneemt. In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboot altijd twee bakken vervoerd bij het varen.

III.

Voor duwboot 2 en duwboot 1 wordt gebruik gemaakt van de verhoudingen tussen het gemiddeld aanbod van containers per dag op de terminals in het Rotterdamse gebied. Duwboot 1 en duwboot 2 transporteren samen wel de 8030 bakken maar onderling verschillen de aantallen wel :

$$\approx 334 \div 720 * 8030 = 3725 \text{ bakken/duwboot 1.}$$

$$\approx 386 \div 720 * 8030 = 4305 \text{ bakken/duwboot 2.}$$

Voor duwboot 1 betekent dit :

$$\approx 3725 \div 350 = 10.6 \text{ bakken/dag.}$$

De gemiddelde vaartijd voor duwboot 1 bedraagt 2.1 uur en de duwboot kan maximaal twee bakken

vervoeren zodat de vaartijd per jaar :

$$\approx 6 * 2.1 * 350 = 4410 \text{ uur.}$$

De bezettingsgraad wordt dus :

$$\approx 4410 \div 8400 = 53\%$$

Ook voor duwboot 1 geldt het verhaal dat voor duwboot 4 reeds geldt. Uit tabel 7.2.2 van de bijlage, hoofdstuk 7, blz 4 blijkt dat de duwboot veel meer vaart met slechts een bak of zelfs zonder bakken afvaart. De bezettingsgraad neemt dan automatisch toe. In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboot twee bakken meeneemt als gevaren wordt.

Voor duwboot 2 kan het volgende rekensommetje worden uitgevoerd :

$$\approx 4305 \div 350 = 12.2 \text{ bakken/dag.}$$

De gemiddelde vaartijd van duwboot 2 is bepaald uit het gemiddelde van de trajecten :

Parking-terminal 2	:	gem. 0.5	uur
Parking-terminal 3	:	gem. 1.0	uur
Parking-terminal 2-terminal 3	:	gem. 1.0	uur
parking terminal 3-terminal 2	:	gem. 1.5	uur

totale vaartijd : gem. 0.75 uur

De duwboot kan maximaal twee bakken vervoeren:

$$\approx 7 * 0.75 * 350 = 1838 \text{ uur}$$

De bezettingsgraad wordt nu :

$$\approx 1838 \div 8400 = 22\%$$

Voor duwboot 2 geldt ook dat vaak meerder terminal achter elkaar aangedaan worden zodat de vaartijd en dus de bezettingsgraad toe zal nemen. Bovendien vaart duwboot 2 ook vaak een traject zonder bakken of slechts met een bak zoals opnieuw blijkt uit tabel 7.2.2 van de bijlage, hoofdstuk 7, blz 4. Dit verklaart de bezettingsgraad die door het simulatiemodel bepaald is. In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboot twee bakken bij zich heeft als gevaren wordt.

vervoeren zodat de vaartijd per jaar :

$$\approx 6 * 2.1 * 350 = 4410 \text{ uur.}$$

De bezettingsgraad wordt dus :

$$\approx 4410 \div 8400 = 53\%$$

Ook voor duwboot 1 geldt het verhaal dat voor duwboot 4 reeds geldt. Uit tabel 7.2.2 van de bijlage, hoofdstuk 7, blz 4 blijkt dat de duwboot veel meer vaart met slechts een bak of zelfs zonder bakken afvaart. De bezettingsgraad neemt dan automatisch toe. In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboot twee bakken meeneemt als gevaren wordt.

Voor duwboot 2 kan het volgende rekensommetje worden uitgevoerd :

$$\approx 4305 \div 350 = 12.2 \text{ bakken/dag.}$$

De gemiddelde vaartijd van duwboot 2 is bepaald uit het gemiddelde van de trajecten :

Parking-terminal 2	:	gem. 0.5	uur
Parking-terminal 3	:	gem. 1.0	uur
Parking-terminal 2-terminal 3	:	gem. 1.0	uur
parking terminal 3-terminal 2	:	gem. 1.5	uur

totale vaartijd : gem. 0.75 uur

De duwboot kan maximaal twee bakken vervoeren:

$$\approx 7 * 0.75 * 350 = 1838 \text{ uur}$$

De bezettingsgraad wordt nu :

$$\approx 1838 \div 8400 = 22\%$$

Voor duwboot 2 geldt ook dat vaak meerder terminal achter elkaar aangedaan worden zodat de vaartijd en dus de bezettingsgraad toe zal nemen. Bovendien vaart duwboot 2 ook vaak een traject zonder bakken of slechts met een bak zoals opnieuw blijkt uit tabel 7.2.2 van de bijlage, hoofdstuk 7, blz 4. Dit verklaart de bezettingsgraad die door het simulatiemodel bepaald is. In de handberekening wordt er van uitgegaan dat de duwboot twee bakken bij zich heeft als gevaren wordt.

Hoofdstuk 8 : Capaciteitsbepaling.

Met het simulatiemodel dat diende als basismodel in hoofdstuk 7 (zie tevens de bijlage hoofdstuk 7) is de capaciteit bepaald van het Shuttle-systeem (met drie duwboten 3). Met de capaciteit van het systeem wordt hier de maximale volumestroom bedoeld in aantallen TEU's die het systeem in een jaar kan verwerken. Het betreft hier een indicatie van de toelaatbare capaciteit van het nieuwe systeem, omdat slechts een beperkt aantal gegevens omtrent de verdeling van het containeraanbod over de verschillende overslaggebieden in Rotterdam en Antwerpen voor handen waren. Als referentiejaar wordt het jaar 1991 gebruikt waarin 420000 TEU's worden verscheept. Uitgegaan wordt van de volgende aanbodsverdeling :

Zie bijlage, hoofdstuk 8, blz 1.

Met deze verdeling over de week zijn de volgende simulaties gemaakt van 350 werkdagen :

- 100% van het aanbod van 1991.
- 110% van het aanbod van 1991.
- 120% van het aanbod van 1991.
- 130% van het aanbod van 1991.
- 140% van het aanbod van 1991.
- 150% van het aanbod van 1991.
- 160% van het aanbod van 1991.

Per aanbod zijn drie simulaties uitgevoerd en de resultaten daarvan zijn gemiddeld over de drie simulaties. De volgende uitkomsten zijn op drie verschillende wijzen grafisch weergegeven :

- De transporttijd van de container (TEU) tegen het transportvolume over een jaar.
- Het aantal bakken in het systeem tegen het transportvolume over een jaar.
- De bezettingsgraad van de duwboten in het systeem tegen het transportvolume over een jaar.

Zie bijlage ; hoofdstuk 8, blz 2, blz 3 en blz 4.

Te zien is dat de grafieken allen dezelfde vorm hebben, hetgeen ook de verwachting is. Door de toename van het aanbod van TEU's over een jaar moeten de duwboten in het systeem een steeds grotere stroom bakken met TEU's vervoeren. De tijd dat een bak moet wachten op een duwboot neemt hierdoor toe, met als gevolg dat de transporttijd van de container (de tijd van herkomst tot bestemming) stijgt. Doordat bakken

met containers langer doen over hun traject zal de terminalmaster bij een toenemende volume stroom over een jaar vaker een te kort aan bakken in voorraad hebben en dus bakken bijplaatsen op de terminal. Het aantal bakken in het systeem neemt hierdoor toe.

De capaciteitsgrens van het systeem wordt bereikt doordat de duwboten op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen (duwboot 3) de stroom bakken niet meer kunnen verwerken. De gemiddelde transporttijd van de container stijgt hierdoor naar een waarde die zelfs boven de transporttijd van een container in het huidige vervoerssysteem ligt (gemiddeld drie dagen). De capaciteitsgrens van het Shuttle-systeem, met drie duwboten op het vaartraject tussen Rotterdam en Antwerpen, zal daarom op ongeveer 630000 TEU's per jaar liggen. Bij een groter aanbod dan 630000 TEU's per jaar zal een extra duwboot ingezet moeten worden tussen Rotterdam en Antwerpen.

Hoofdstuk 9 : Resultaten.

9.1 : Algemeen.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van een simulatiemodel met 55 bakken in het systeem gepresenteerd. De volgende resultaten komen in dit hoofdstuk aan de orde :

- De transporttijd van de container (van herkomst naar bestemming).
- De bezettingsgraad van de duwboten die in het nieuwe transportsysteem opereren.
- Het aantal bakken dat door het systeem verscheept wordt (vol en leeg).

Voor bovenstaande resultaten zijn 10 runs gedraaid van 350 werkdagen om te kunnen checken of er veel spreiding in de resultaten optreedt. Aan de kosten voor het vervoer van een container wordt in dit hoofdstuk een aparte paragraaf gewijd.

9.2 Resultaten.

I.

De transporttijd van de containers en aantal verscheepte bakken door het systeem.

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 1.

II.

De bezettingsgraad van de duwboten.

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 1.

De resultaten zijn niet beïnvloed door het opstarten van de simulatie doordat rekening is gehouden met een opstarttijd van 100 uur (zie tevens hoofdstuk 6, paragraaf 6.2.6). Uit de resultaten van de 10 simulatieruns blijkt dat de spreiding van de waarden slechts gering is.

9.3 De kosten van het systeem.

9.3.1 Kosten per container (TEU).

Om de kosten per container (TEU) te bepalen is gebruik gemaakt van een systeem met 55 bakken. De investeringen die gepleegd moeten worden voor het nieuwe vervoerssysteem (de bakken en

duwboten) zijn bepaald op basis van nieuwprijzen. Voor de nieuwprijzen :
Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 2.

Voor het bepalen van de jaarlijkse kosten zal het bedrag van 41.5 miljoen gulden aan investeringen gesplitst moeten worden in casco-kosten en kosten voor de motoren. In de casco-kosten dient namelijk de uiteindelijke schroot prijs (10%) verrekend te worden, dit geldt niet voor de kosten voor motoren. De casco -en motoren aanschaffkosten worden op basis van informatie van machine fabrieken en scheepswerven geschat op resp. 37.990.000 DFL en 3.460.000 DFL. Bovendien geldt voor de levensduur van het casco 30 jaar en voor de levensduur van de motoren slechts 10 jaar.

Kosten voor overslag zijn niet meegenomen.
Voor een overzicht van alle kostensoorten :
Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 2.

De totale kosten van het systeem bedragen dus 34454 DFL per dag. (uitgaande van 350 werkdagen). De kosten per TEU zijn dan :

$$\approx 34454 \div 1200 = 28.70 \text{ DFL}$$

Hierin is 1200 het gemiddeld aantal te transporter containers (TEU's) per dag.

9.3.2 Extra kosten.

In deze paragraaf zal worden onderzocht in hoeverre de kosten per container (TEU) toenemen wanneer aan het nieuwe vervoerssysteem een zekere garantietijd wordt verbonden. Met een garantietijd wordt hier bedoeld :

Een transporttijd van de container (TEU) die met een bepaalde zekerheid gegarandeerd kan worden.

Voor een model met een constant aantal bakken van 55 in het systeem zijn de volgende garantietijden onderzocht :

- Een garantietijd van 70 uur.
- Een garantietijd van 80 uur.
- Een garantietijd van 100 uur.

Voor een overzicht van de gegarandeerde transporttijden die het simulatiemodel geeft :
Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 3.

De transporttijd van de container is tevens uitgezet tegen de percentages vervoerde contai-

ners (bepaald door het simulatiemodel).

- Een garantietijd van 70 uur voor het vervoerssysteem betekent dat 90% van de containers op tijd op zijn bestemming is gearriveerd.
- Een garantietijd van 80 uur voor het vervoerssysteem betekent dat 95% van de containers op tijd op zijn bestemming is gearriveerd.
- Een garantietijd van 100 uur voor het vervoerssysteem betekent dat 99% van de containers op tijd op zijn bestemming is gearriveerd.

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 3.

Als aan het nieuwe vervoerssysteem een bepaalde garantietijd wordt gekoppeld (70 uur, 80 uur, 100 uur), dan betekent dit tevens dat enkele containers niet binnen de gestelde garantietijd op de bestemming gearriveerd zullen zijn, hetgeen ook volgt uit het bovenstaande. De containers die niet binnen de gestelde garantietijd op de bestemming zijn gearriveerd zullen daarom via alternatieve transportmiddelen vervoerd dienen te worden. Echter van dit aantal containers (op jaarbasis) zal slechts een klein gedeelte van de klanten eisen dat de container op zijn bestemming gearriveerd moet zijn binnen de gestelde garantietijd (enigszins arbitrair wordt 7% van de verlate containers aangehouden). Als alternatief transportsysteem is gekozen voor de vrachtauto. Voor de kosten per container met de vrachtauto :

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 4.

De kosten per TEU zijn nu opnieuw berekend door de extra kosten veroorzaakt door het alternatieve transport per vrachtauto mede te betrekken in de kostprijs van het transportsysteem per dag.

Er wordt van uitgegaan dat het transport per vrachtauto dezelfde eindbestemming heeft als het transport over het water.

Een vrachtauto kan twee TEU's vervoeren.

I.

Met een garantietijd van 70 uur voor de transporttijd van container worden dus 10% van de containers niet binnen de 70 uur van herkomst naar bestemmingspunt vervoerd. De volgende kosten per dag voor het vervoerssysteem worden dan berekent :

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 4.

De totale kosten van het systeem bedragen dus 35149 DFL per dag. (uitgaande van 350 werkdagen). De kosten per TEU zijn dan :

$$\approx 35149 \div 1200 = 29.30 \text{ DFL}$$

Hierin is 1200 het aantal te transporteren containers (TEU's) per dag.

II.

Met een garantietijd van 80 uur voor de transporttijd van de container wordt 5% van de containers niet binnen de 80 uur van herkomstpunt naar bestemmingspunt vervoerd. De volgende kosten per dag voor het vervoerssysteem worden dan berekent :

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 5.

De totale kosten van het systeem bedragen dus 34870 DFL per dag. (uitgaande van 350 werkdagen). De kosten per TEU zijn dan :

$$\approx 34870 \div 1200 = 29.10 \text{ DFL}$$

Hierin is 1200 het aantal te transporteren containers (TEU's) per dag.

III.

Voor de totale kosten per dag inclusief de kosten m.b.t. een garantietijd voor de container van 100 uur :

Zie bijlage ; hoofdstuk 9, blz 6.

De totale kosten van het systeem bedragen dus 34532 DFL per dag. (uitgaande van 350 werkdagen). De kosten per TEU zijn dan :

$$\approx 34532 \div 1200 = 28.80 \text{ DFL}$$

Hierin is 1200 het aantal te transporteren containers (TEU's) per dag.

Door het geven van een garantie voor de transporttijd van de container moet uiteraard wel rekening gehouden worden met langere transporttijden. Een afweging is op z'n plaats wanneer een verdere toename van de transporttijd niet meer opweegt tegen de kosten van het vervoer over de weg (break-even-point), of vice versa. Dit onderwerp is in dit verslag niet verder onderzocht.

Hoofdstuk 10 : Conclusies en Aanbevelingen.

10.1 Conclusies.

Geconcludeerd kan worden dat het Shuttle_systeem goed werkt. De uitkomsten kunnen echter niet gecheckt worden aan een praktijksituatie. Het model kan nog op enkele punten geoptimaliseerd worden. De gevolgen hiervan op de uitkomsten van het model zullen waarschijnlijk klein zijn.

Doordat getracht is een model te creëren met een constant aantal bakken in het systeem zijn wijzigingen aangebracht in het proces van de terminalmaster. Het geven van een maximale laadtijd van 3 uur aan bakken die pas later arriveren op de terminal is nogal arbitrair. De laadtijd is echter wel aan de ruime kant genomen, zodat het uiteindelijke constante aantal bakken (nu 55 stuks) niet veel zal veranderen.

Bij een dienstregeling zou een afweging op z'n plaats zijn of het niet toch wenselijk is een extra duwboot in te zetten op het traject tussen Rotterdam en Antwerpen waarbij alle bakken die op de beide parkings arriveren ook meegenomen kunnen worden in vergelijking met de onregelmatige afvaarten die nu plaatsvinden in het Shuttle_model met drie duwbotten als inzet. Het voordeel van een dienstregeling blijft toch het kunnen inspelen (en dus zekerheid) op de regelmatige afvaarttijden op dit traject door de duwbotten in de beide havengebieden.

De gemiddelde transporttijd van de container in het Shuttle-systeem bedraagt 30 uur. Het huidige vervoerssysteem heeft gemiddeld 60 uur nodig om de container van herkomst naar bestemming te transporteren.

Het nieuwe vervoerssysteem met een garantietijd van 70 uur levert 90% van de containers (TEU's) binnen deze garantie_transporttijd af op de bestemming. Het huidige vervoerssysteem heeft ongeveer 5 dagen nodig om 90% van de containers op de bestemming af te kunnen leveren.

Conclusie :

Het nieuwe vervoerssysteem biedt goede perspectieven voor de toekomst.

De capaciteitsgrens van het Shuttle-systeem wordt geschat op 630000 TEU's per jaar.

Conclusie :

Het nieuwe vervoerssysteem is een flexibel systeem die voldoende reserves in zich heeft.

De kosten van het transportsysteem uitgedrukt in de vervoersprijzen van een container (TEU) bedragen : 28.70 DFL

De kosten van het huidige vervoerssysteem bedragen per TEU : 40.00 DFL

Conclusie :

Het uitwisselen van bakken op de terminals, waardoor problemen rond de overslag buiten het transportsysteem worden gehouden, is ook commercieel aantrekkelijk.

10.2 Aanbevelingen.

1). Nader onderzoek zal verricht moeten naar het gebruik van de juiste bakken voor dit van transportsysteem. In het model zijn halve Europa II bakken gebruikt. De vraag is of niet grotere bakken ingezet kunnen worden (hetgeen natuurlijk afhangt van de te bevaren trajecten).

2). Nader onderzoek moet ook gepleegd worden naar een definitieve situering voor de parkings in de beide havengebieden. Kosten met betrekking tot de aanleg en situering van de beide parkings (kosten infrastructuur) zijn buiten beschouwing gelaten.

3). De gegevens rond het containeraanbod op de overslaggebieden in de beide havengebieden waren schaars en onvoldoende. Uit de verstrekte gegevens kon niet worden opgemaakt hoe het aanbod op de terminals verdeeld is. Voorlopig is een uniforme verdeling aangenomen voor het containeraanbod. Nader onderzoek zal verricht moeten worden naar de werkelijke containeraanbod verdeling op de overslaggebieden.

4). De concentratiepunten van overslaggebieden zijn niet de definitieve eindpunten van de vervoerde bakken. De bakken moeten immers nog verscheept worden naar de verschillende overslaggebieden (terminals) in het concentratiegebied zelf. De wijze waarop het vervoer van bakken binnen een concentratiepunt van overslaggebieden zal geschieden is niet verder onderzocht. De meest voor de hand liggende oplossing zal de inzet van kleine duwbootjes zijn die tussen de diverse terminals en een gemeenschappelijk uitwisselingspunt binnen een concentratiepunt van overslaggebied op en neer pendelen.

Kosten die bovenstaand equipment met zich mee zal brengen zijn niet meegenomen in de berekende kosten per container (TEU).

Literatuur

- [1] Cameron M.D.E.
"Logistiek en de Haven"
Nouvelles Spatiales, juni 1991, jaargang 3 nr. 3, blz 5-9
- [2] Dunnen R. den en M. Schut
"Van kwantiteit naar kwaliteit" Oudejaarsbijeenkomst
Havenvereniging Rotterdam, december 1989
- [3] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van VROM
"Tweede structuurschema Verkeer en Vervoer", deel d :
regeringsbeslissing. Verkeer en vervoer in een duurzame
samenleving. SDU uitgeverij, Den Haag 1990.
- [4] Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
"Rotterdamse Interne Logistiek (RIL)" Gemeentelijk
Havenbedrijf Rotterdam, Rapport. RIL, oktober 1989.
- [5] Ir.J.Bouwmeester
Dictaat F12N
"Binnenscheepvaart en Binnenscheepvaartwegen"
juni 1989
- [6] Ir.R.Groenveld
"Wachttijdtheorie", Service-systemen in de
Verkeerswaterbouwkunde.
januari 1990
- [7] Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
"Beter, Meer en Verder?" (Goederenstromenmodel 6)
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, augustus 1990.
- [8] Jansen, G.R.M. en T. van Vuren
"Containerwegvervoer van en naar de Rotterdamse haven"
Verkeerskunde 39 (1988) nr 2, blz 48-58.
- [9] Wagenaar, P.H.
"De Derde Weg" Economisch Statistische Berichten (ESB),
28-6-1989, blz 625-629
- [10] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde
"Sint Antonius in de haven van Rotterdam ; verslag van
een logistieke verzoeking"
RWS-DVK, Hoofdafdeling Scheepvaart, Rotterdam, maart 1990
- [11] Sierenberg en de Gans
"Personal PROSIM Simulation Language"
Waddinxveen, mei 1990.

