

## Analyse van een gemechaniseerd stavenmagazijn

***Citation for published version (APA):***

Schijven, C. J. L. (1989). *Analyse van een gemechaniseerd stavenmagazijn*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0774). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1989

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

**ANALYSE VAN EEN GEMECHANISEERD  
STAVENMAGAZIJN**

C.J.L. Schijven

WPA rapportnummer 0774, juli 1989

## Samenvatting

De materiaaldienst van de Philips Machinefabrieken beschikt voor de leveranties van staafmaterialen over een gemechaniseerd stavenmagazijn. In dit magazijn zijn alle materialen in cassettes opgeborgen. De cassettes zijn in twee stellingen geplaatst, waartussen twee kranen rijden die de cassettes uit de stellingen halen en naar één van de negen zaagstations brengen. Daar worden de materialen op lengte afgezaagd. Omdat beide kranen op dezelfde rails rijden moeten zij rekening houden met elkaar. Doordat de besturing van het stavenmagazijn met relatief eenvoudige algoritmes werkt, staan de kranen regelmatig op elkaar te wachten.

In deze onderzoekopdracht is gekeken naar enige aspecten van dit magazijn. De vraag was of en vooral hoe het stavenmagazijn verbeterd kan worden om de kranen minder op elkaar te laten wachten en zo meer orders te kunnen afwerken.

Met behulp van het simulatiepakket DOSIMIS 3 zijn enkele modellen van dit magazijn gemaakt, waarmee een paar belangrijke aspecten zijn bekeken. Allereerst is gekeken naar verschillende vormen van "scheduling". Ten tweede is gekeken welke extra capaciteit uit het inzetten van de tweede kraan gehaald kan worden. Tot slot zijn enkele parameters die het rijgedrag karakteriseren onderzocht.

Gebleken is dat sturing door middel van het principe van de kortste rijweg het beste voldoet, hoewel er weinig verschil is tussen de verschillende strategieën. Verder blijkt dat het inzetten van een tweede kraan een aanzienlijke capaciteitswinst oplevert en in drukke periodes noodzakelijk is. Bovendien is gevonden dat vooral bij het verkleinen van de laad- en lostijden veel capaciteitswinst te behalen is.

## Summary

The Materials Service of the Philips Machine Factories has an automatic warehouse for the deliveries of bars. In this warehouse all materials are stored in cassettes. Placed in two large scaffolds, these cassettes can be taken out and brought to one of nine stations by one of the two cranes. The cranes manoeuvre between these two scaffolds. At those nine stations, the bars are cut at length. As both cranes use the same rails, they have to take each other into account. The control system of the warehouse operates with a relatively simple algorithm, so the cranes often have to wait for each other.

In this assignment, we studied some aspects of this automatic warehouse. The question was put if and especially how the automatic warehouse could be improved by reducing the average waiting time of the cranes and in this way increasing the amount of possible orders to be processed.

With the aid of simulation software, DOSIMIS 3, three models were created of this warehouse with which a few important aspects were looked into. At first, the different methods of scheduling were studied. Secondly, the extra capacity gained by using the second crane was calculated. Finally, some parameters characterizing the behaviour of the cranes were studied.

In the simulations, it turned out that sending the crane on the job which requires the least movement of the crane, is the best way of scheduling for this situation. It should be noticed however that there is only a slight difference between the different scheduling strategies. Further it appeared that the use of the second crane gives the system a considerable gain of capacity and is even necessary in very busy periods. Finally, it was found that especially by decreasing the time it takes the crane to load and unload the cassettes, a lot of gain in capacity can be found.

## Voorwoord

Dit verslag vormt de afsluiting van mijn onderzoekopdracht aan de Technische Universiteit Eindhoven. De onderzoekopdracht is verricht onder verantwoordelijkheid van prof.dr.ir. A.C.H. van der Wolf. Mijn begeleiders waren ir. J.M. Deurwaarder, ir P.J.C. Mikkers en ing. J.M.M. Zentjens.

Ik wil bovenstaande personen bedanken voor hun begeleiding en voor hun adviezen.

Tevens zou ik willen bedanken de mensen van de Materiaaldienst waar ik tijdens deze onderzoekopdracht plezierig mee heb mogen samenwerken en Maarten van Bree voor het wegwijs maken binnen DOSIMIS 3.

C.J.L. Schijven  
juli 1989

## **Inhoudsopgave**

Samenvatting	2
Summary	3
Voorwoord	4
Inhoudsopgave	5
1. Inleiding	6
2. Gebiedsverkenkende analyse	8
2.1 Analyse gemechaniseerd stavenmagazijn	8
2.2 Analyse besturing gemechaniseerd stavenmagazijn	10
2.3 Analyse orderstroom	13
3. Simulatiemedium	17
3.1 Keuze van het simulatiemedium	17
3.2 DOSIMIS 3	17
4. Modelvorming	19
4.1 Orderverwerking	19
4.2 Doelsturing	20
4.3 Dubbelstations	20
4.4 Bewerkingstijden	21
4.5 MBA parameters	22
4.6 Modellen	23
4.6.1. Model enkelkraan	23
4.6.2. Model dubbelkraan	23
4.6.3. Model tweebak	24
5. Resultaten	25
5.1 Inrichting simulaties	25
5.2 Scheduling	26
5.3 Orderverwerking	26
5.4 MBA parameters	26
6. Conclusies	27
7. Aanbevelingen	28
Literatuur	29
Bijlagen	30
Bijlage 1. Lay out materiaaldienst	30
Bijlage 2. Globale indeling afgiftestations	31
Bijlage 3. Flowchart PLC-algoritme	33
Bijlage 4. DOSIMIS 3	34
Bijlage 5. Ordergenerering	49
Bijlage 6. Modellering in detail	50
Bijlage 7. Modellen	52
Bijlage 8. Resultaten	55

## Hoofdstuk 1. Inleiding

De Philips Machinefabrieken zijn binnen de Philips organisatie de leveranciers van produktiemachines en gereedschappen alsmede mechanische gedeelten van grote professionele produkten. De Machinefabrieken zijn onderverdeeld in een aantal fabrieken en een aantal ondersteunende diensten. Van deze laatste groep is de materiaaldienst er één.

De materiaaldienst heeft tot taak het leveren van materialen (staaf zowel als plaat) en onderdelen voor de enkel- en kleinseriefabrikage. De afnemers van de Materiaaldienst zijn de Machinefabrieken, de BM- en de EBM-werkplaatsen van de product divisies en de werkplaatsen van de professionele divisies. (De laatste tijd wil en gaat men ook steeds meer leveren aan derden, dat wil zeggen bedrijven buiten de Philips organisatie.) Al naar gelang de wensen van de afnemers worden de materialen in elk gewenst aantal en in elke gewenste maat geleverd. Het distributiegebied strekt zich uit over de Benelux (+ Singapore).

In het materiaalmagazijn ("magazijn 4500") heeft men ± 2500 artikelen waarvan ± 2100 staafmaterialen en ± 400 plaat opgeslagen. Het materiaalmagazijn verwerkt ± 130.000 opdrachten per jaar met een totale waarde van ± Hfl. 17.000.000,-. Karakteristiek voor het materiaalmagazijn is het gemechaniseerd stavenmagazijn met daaraan gekoppeld de zaagmachines en daarnaast de machines voor het zagen en knippen van het plaatmateriaal.

In dit gemechaniseerd stavenmagazijn zijn alle staafvormige materialen in cassettes opgeborgen. Deze cassettes zijn in twee stellingen geplaatst, waartussen twee magazijnbedieningsapparaten (MBA's) rijden die de cassettes uit de stellingen halen, naar een zaagstation rijden en daar de cassettes afgeven. Na de bewerking wordt de cassette weer teruggezet op zijn oude positie in de stelling. Aangezien beide MBA's op dezelfde rails rijden, dienen zij met elkaar rekening te houden. De volgorde waarin de orders worden afgehandeld, wordt bepaald met behulp van een relatief eenvoudig algoritme, waardoor de MBA's vaak op elkaar staan te wachten.

In het kader van deze onderzoekopdracht is gekeken naar verschillende manieren van "scheduling" en hun invloed op de bezettingsgraden van de zaagmachines en de interacties tussen de MBA's. Tevens is bekeken bij welk orderniveau het wenselijk wordt om maar met één MBA te werken en of het zin heeft om de mogelijkheid in te bouwen dat iedere MBA twee cassettes tegelijkertijd kan vervoeren.



## Hoofdstuk 2. Gebiedsverkennende analyse

In oktober 1977 heeft men binnen de Materiaaldienst de start gegeven om een oplossing te zoeken voor de problemen in het magazijn. Doordat er veel enkel- en kleinseriefabrikage plaats vindt, is het aan- en afvoeren van materiaal telkens voor kleine hoeveelheden noodzakelijk. Door dit zware transportwerk is het werken in het magazijn niet aantrekkelijk en zeer arbeidsintensief en gecombineerd met het werken in ploegendienst zorgde dit ervoor dat er moeilijk werknemers te krijgen waren. Men besloot het magazijn voor staafmaterialen te automatiseren en in december 1981 werd het nieuwe, gemechaniseerde stavenmagazijn in gebruik genomen. In bijlage 1 wordt de lay out van de materiaaldienst getoond: het gearceerde gedeelte is het gemechaniseerd stavenmagazijn.

### 2.1 Analyse gemechaniseerd stavenmagazijn

In het gemechaniseerd stavenmagazijn staan 2 stellingen (nummers 0 en 1) van elk 65 m lang, 5.4 m hoog en 3 m diep. Per opbergplaats zijn in deze stellingen 8 gelagerde rollen gemonteerd waarop een cassette kan bewegen en in ruststand gezekerd is door een veer. De twee stellingen zijn tegenover elkaar opgesteld met daar tussen een transportgang, waar op een en dezelfde rails twee magazijnbedieningsapparaten (MBA's) rijden.

In de stellingen zijn ± 1700 cassettes geplaatst. Deze cassettes bestaan uit een open staalconstructie die in verband wordt gehouden door twee kokerprofielen. De bodem is enigszins hellend om te voorkomen dat ronde staven gaan rollen. Er zijn twee typen cassettes in gebruik; één met doorsnede 510x570 mm en één met doorsnede 530x250 mm. De grootste maat is voor materialen met grote doorsneden ( $> \varnothing 200$  mm) en voor grote volumes (pijpen). Er kan in een cassette materiaal van 400 mm tot 4200 mm lang worden opgeborgen.

Tussen de stellingen rijden de twee MBA's. In essentie zijn dit rijdende portaalkranen met een bewegende brug of traverse. Deze

brug wordt op de juiste hoogte gehesen en tegen de stelling aan geplaatst. De juiste cassette wordt in de brug gereden en door de MBA naar de gewenste positie gebracht, waar de cassette wordt weggezet.

Afhankelijk van de soort materiaal, de afmetingen en de bewerking kunnen de cassettes naar 9 verschillende afgiftestations gebracht worden. Deze 9 afgiftestations zijn bereikbaar doordat er enkele posities in stelling 0 geen vaste lokatie voor een cassette vormen maar een doorgeefluik naar de bewerkingsmachines zijn. Een MBA zet een cassette in deze gereserveerde positie waarna het afgiftestation de cassette aan de andere kant van de stelling uitneemt en bij de bewerkingsmachine aflevert.

Van de negen afgiftestations heeft ieder station zijn specifieke kenmerken. Zes stations zijn uitgerust met een zaagmachine, waarvan twee stations zelfs de beschikking hebben over twee zaagmachines. Twee stations zijn speciaal ingericht om hele lengtes staafmateriaal uit de cassettes te halen. Eén station is ingericht om de voorraad materiaal in de cassettes aan te vullen. Dit laatste station wordt het vulstation genoemd. In bijlage 2 wordt een globale indeling van de stations gegeven met betrekking tot technische uitrusting en de soorten orders, die op dat station verwerkt worden.

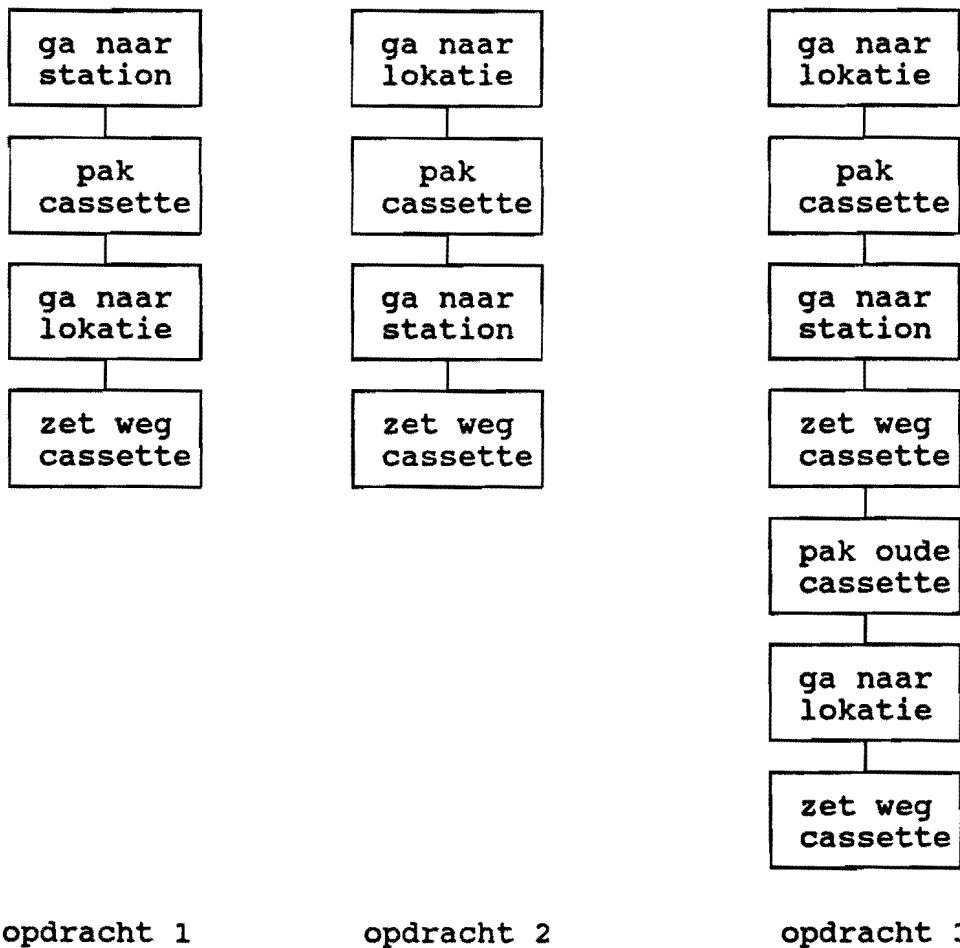
Bij stations 1 t/m 5 en bij station 9, de zogenaamde enkelstations, wordt de cassette met het te bewerken materiaal aangevoerd en blijft in het station gedurende de hele bewerking. Er kan geen nieuwe cassette worden aangevoerd voordat de eerste afgevoerd is. Bij station 6 t/m 8 daarentegen, de zogenaamde dubbelstations, zijn twee wachtvakken aangebracht. Er zijn altijd twee cassettes aanwezig: één in bewerking en één of in wachtvak 1 als hij nog bewerkt moet worden of in wachtvak 2 als er al een bewerking heeft plaatsgevonden. Bij gereedmelding van de eerste cassette (deze wordt dan in wachtvak 2 geplaatst) wordt er een nieuwe cassette in wachtvak 1 gezet en wordt de cassette uit wachtvak 2 naar zijn locatie teruggebracht. De cassette in bewerking wordt als hij klaar is, doorgezet naar wachtvak 2 en de cassette uit wachtvak 1 wordt in bewerking genomen.

## 2.2 Analyse besturing gemechaniseerd stavenmagazijn

De besturing van het gehele systeem is op te delen in 3 niveau's, oplopend naar complexiteit:

- a) de machine- of kraanbesturing; voert de opdrachten van de PLC uit;
- b) de PLC-besturing: verwerkt de ingevoerde orders, selecteert, coördineert met de stations en stuurt de opdrachten naar de MBA's;
- c) het fysieke of operationele niveau: de operator stuurt door de orders te rangschikken en in te voeren in de PLC; tevens kan hij sturen door prioriteiten aan te geven.

ad a) De machine- of kraanbesturing zorgt voor het uitvoeren van de opdrachten die de PLC-besturing selecteert. Een MBA kan 3 verschillende opdrachten krijgen:



Figuur 1: Mogelijke opdrachten voor de machinebesturing.

Tijdens het uitvoeren van deze opdrachten coördineert deze besturing tevens de onderlinge positie van de MBA's. Bij een dreigende botsing wordt de kraan met de "nieuwste" opdracht gedwongen tot uitwijken. Na het vervullen van een gehele opdracht door een MBA geeft deze een gereedmelding aan de PLC-besturing.

ad b) Bij gereedmelding van een MBA bepaalt de PLC-besturing bepalen welke opdracht nu uitgevoerd gaat worden. De PLC kiest hierbij allereerst een beschikbaar station en in tweede instantie de opdracht voor dit station. Bij de selectie van een station wordt eerst gekeken of een station een tijdelijke prioriteit heeft gekregen van de operator. Als dit station nog met een cassette bezig is of als de PLC geen nieuwe opdracht in de buffer heeft, dan wordt gekeken of er een station leeg is. Indien dit ook niet het geval is, wordt gekeken of een station klaar is met een bewerking. In deze laatste twee gevallen wordt bij meerdere lege stations of bij meerdere simultane gereedmeldingen de keuze van het station bepaald door iedere keer in een vaste volgorde de stations af te lopen. Deze vaste volgorde is gelijk aan de manier waarop de stations op het controlepaneel voorkomen, dat wil zeggen: 6, 7, 8, 1, 2, 3, 4, 5, 9. Iedere keer als deze reeks wordt afgelopen, begint men bovenaan te kijken welk station aan de beurt is. Gevolg is dat vooral stations 5 en 9 lang moeten wachten op een nieuwe opdracht, tenzij de operator deze stations op z'n tijd prioriteit geeft. De flowchart van dit algoritme is opgenomen als bijlage 3.

Binnen de PLC-besturing heeft ieder station een aantal bufferplaatsen voor opdrachten onderhanden werk. De dubbelstations hebben 10 bufferplaatsen, waarvan er twee altijd bezet blijven en er één gereserveerd is voor spoedopdrachten. De enkelstations hebben ieder 6 bufferplaatsen, waarvan er ook één voor spoedopdrachten is. Bij deze laatste stations zal de PLC-besturing altijd de opdracht selecteren die vooraan in de buffer staat; bij de dubbelstations daarentegen selecteert hij de opdracht op een minimalisering van de weglengte. Bij selectie van stations en orders wordt geen rekening gehouden met de bewegingen en posities van de MBA's onderling.

Indien de twee MBA's tegelijkertijd in bedrijf zijn zal MBA 1 de stations 1 t/m 4 en 9 bedienen en tevens het terugzetten van de cassettes vanuit station 5 voor zijn rekening nemen; MBA 2 bedient de dubbelstations 6 t/m 8 en haalt de nieuwe cassettes voor station 5. Op deze wijze heeft men geprobeerd de interacties tussen de beide MBA's te verminderen en de besturing te vereenvoudigen. Echter aangezien de cassettes niet geconcentreerd zijn rond de stations waar ze bewerkt moeten worden, staan de MBA's bij het rijden van en naar de lokatie van de cassette vaak op elkaar te wachten. Het is moeilijk om de cassettes goed geplaatst te krijgen in de stellingen omdat er geen gegevens over worden bijgehouden en omdat een bepaalde cassette vaak op meerdere stations bewerkt kan worden (zie ook bijlage 2).

De PLC-besturing stuurt de gegevens over het cassettenummer (=lokatienummer) en (bij de volautomatische stations) het aantal en de lengte van de te zagen stukken naar de stations. Hier worden deze gegevens zichtbaar op een bedieningspaneel. Na afwerking van een opdracht wordt van hieruit (handmatig of volautomatisch) een gereedmelding gegeven.

Als laatste taak van de PLC-besturing is te noemen het coördineren van de cassettes. Hiermee wordt bedoeld dat de PLC-besturing bijhoudt of een bepaalde cassette elders al in gebruik is. Een opdracht zal, als dit het geval is, niet uitgevoerd worden, totdat de cassette weer beschikbaar is.

ad c) Op het operationele niveau krijgt de operator de orders van de ploegbaas. Hij krijgt 's morgens vrijwel het gehele orderpakket voor de komende twee ploegen. Hij rangschikt de orders, combineert bepaalde orders tot een gezamenlijke opdracht voor de MBA en maakt een globale indeling welke orders opdracht worden voor welk station. Hij heeft nu voor ieder station een buffervoorraad opdrachten waaruit hij kan putten als er nieuwe opdrachten in het geheugen van de PLC moeten worden gezet. Welke opdracht hij uit die buffer pakt, hangt af van de opdracht die momentaan verwerkt wordt, dat wil zeggen soort materiaal, seriegrootte, bewerkingstijd en dergelijke.

In de loop van de dag krijgt hij ook nog opdrachten met spoed, die al naar gelang de haast die een dergelijke opdracht heeft op twee verschillende manieren verwerkt kan worden. Er is de mogelijkheid om die opdracht in te lezen in de bufferplaats die gereserveerd is voor spoedopdrachten; de eerst volgende opdracht die op dat station wordt uitgevoerd is dan de spoedopdracht. Bij iets minder haast kan de operator de opdracht gewoon inlezen en het station prioriteit geven; de opdracht komt dan volgens de normale procedure aan de beurt, het station krijgt wel voorrang.

### 2.3 Analyse orderstroom

Uit het administratieve magazijnbesturingssysteem MAGSYS krijgt de ploegbaas iedere morgen een pakket met orders aangeleverd. Op iedere order die de operator krijgt, staan vermeld een richtbewerkingstijd en het station waarop deze bewerking kan gebeuren. De operators hebben de vrijheid om een bepaalde opdracht op een ander station uit te voeren. De werkelijke bewerkingstijd wordt bepaald door het technische proces en komt niet altijd overeen met de richtbewerkingstijd van de order.

station	totaal aantal opdrachten
9	1228
1	1041
2	551
3	1218
4	784
5	1135
6	1417
7	266
8	5
MBA 1	6389
MBA 2	1256
morgenploeg	3766
middagploeg	3879

Tabel 1: Aantal verwerkte opdrachten volgens formulieren (periode 6 maart t/m 7 april 1989).

Gedurende een maand heeft men de operators laten bijhouden hoeveel opdrachten men per station afhandelt en met welke MBA. Men probeert zo een redelijk beeld te krijgen van de werkelijke bezetting van de stations. In tabel 1 zijn de totale aantallen opdrachten per station weergegeven.

In tabel 2 is voor dezelfde periode weergegeven wat er volgens MAGSYS door het gemechaniseerd stavenmagazijn verwerkt is. In MAGSYS worden geen gegevens bewaard over de stations 9, 1 en 6, dat wil zeggen over opdrachten hele lengtes en vulorders.

station	code	tot. aantal opdrachten	gem. bewerkingstijd
2	855	126	14.94 min
3	853	2527	8.95 min
4	854	3189	5.30 min
5	852	106	9.27 min
7	857	1791	9.49 min
8	858	831	19.43 min

Tabel 2: Aantal verwerkte opdrachten en gemiddelde bewerkingstijden volgens MAGSYS (periode 6 maart t/m 7 april).

Vergelijking van de gegevens van MAGSYS met de gegevens van de operators geeft een indicatie van de mate waarin MAGSYS weergeeft wat de operator ook werkelijk doet.

station	form: opdr/uur	MAGSYS: opdr/uur	form/MAGSYS
9	3.20	-	-
1	2.71	-	-
2	1.43	0.339	4.36
3	3.17	6.549	0.48
4	2.04	7.995	0.25
5	2.96	0.296	10.57
6	3.96	-	-
7	0.69	4.29	0.15
8	0.01	2.02	0.005

Tabel 3: Vergelijking van aantallen verwerkte orders (periode 6 maart t/m 7 april 1989).

Aan tabel 3 vallen de grote verschillen tussen de beide registratiemethoden onmiddellijk op. De grote afwijkingen in de verdeling van de opdrachten over de stations tussen de met de hand ingevulde formulieren en de gegevens van MAGSYS zijn te wijten aan een aantal oorzaken:

- \* De gegevens van MAGSYS wat betreft bewerkingstijden en voorkeurstations voor een bepaalde order zijn op enkele plaatsen niet meer up to date.
- \* De periode van beide methoden is weliswaar gelijk, maar bij de in- en uitloop zijn er toch verschillen.
- \* In de periode waarin het systeem bestudeerd is, had station 8 in hoge mate te kampen met storingen.
- \* De formulieren worden door de operators te nonchalant ingevuld en zijn waarschijnlijk niet erg nauwkeurig.

De absolute verschillen tussen de totale aantallen opdrachten die volgens de beide registratiemethoden verwerkt zijn, zijn te herleiden tot de volgende oorzaken:

- \* De operator combineert meerdere orders uit MAGSYS die betrekking hebben op dezelfde cassette tot één opdracht voor de MBA.
- \* Een aantal orders uit MAGSYS worden door de spoedstraat verwerkt.
- \* De operator combineert orders van dezelfde cassette die over meerdere stations zijn uitgespreid tot één opdracht voor de MBA op één station.
- \* De ploegbaas laat werk van station 3 en 4 op station 9 en 6 uitvoeren om de werknemers aan het werk te houden.

Om een indruk te krijgen van de invloed van de orders die MAGSYS niet bewaart (dat wil zeggen de orders voor stations 9, 1 en 6 en de spoedorders) is vervolgens voor een nieuwe periode een beroep gedaan op de operators. Ditmaal werden alleen de boven omschreven orders geturfd. In tabel 4 zijn de resultaten weergegeven van deze nieuwe metingen.

Uit tabel 4 blijkt dat er totaal per ploeg 42 orders extra binnenkomen die buiten de normale orderstroom verwerkt worden. Gemiddeld worden er 178 orders per ploeg via de normale procedure aangeboden. Een aanzienlijk deel van de orderstroom (19%) wordt



dus in de loop van de dag aangeboden, terwijl het overgrote gedeelte (81%) 's morgens halverwege de eerste ploeg aan de operator worden afgegeven. (N.B.: het aantal van 220 orders/ploeg wil niet zeggen dat er door het gemechaniseerd stavenmagazijn 220 opdrachten/ploeg verwerkt worden. De operator combineert orders van hetzelfde materiaal vaak tot één opdracht voor het magazijn. Bovendien gaan kleine orders vaak naar de spoedstraat, waar met de hand deze orders (geheel buiten het gemechaniseerd stavenmagazijn om) worden klaargemaakt.)

categorie	aantal orders/ploeg
<hr/>	
station:	
9	4.10
1	8.17
2	1.29
3	3.74
4	2.10
5	2.74
6	19.26
7	0.33
8	0.05
spoed :	17.17
lengtes :	17.14
vullen :	7.45
totaal :	41.76

Tabel 4: Orders/ploeg welke niet via MAGSYS geregistreerd worden (periode 26 april t/m 29 mei).

De meeste invloed van deze extra orders hebben zoals te verwachten was de stations 9, 1 en 6. Bij deze tweede metingen moet opnieuw de opmerking gemaakt worden dat station 8 te kampen had met veel storingen, doordat dit station zich in een opstartfase bevindt.

### Hoofdstuk 3. Het simulatiemedium

Om grip te krijgen op de verschillende parameters die een rol spelen in het samenspel tussen MBA's, afgiftestations en orderstroom is het zeer nuttig een model op te stellen waarmee simulaties uitgevoerd kunnen worden. Het is de bedoeling om met een dergelijk model gemakkelijker en overzichtelijker de invloed van bepaalde parameters door te rekenen. Afhankelijk van de gedetailleerdheid van de gewenste resultaten zal het model ook beter de werkelijkheid moeten benaderen. De vragen die in deze onderzoekopdracht gesteld zijn, vereisen een globaal model dat vanzelfsprekend de belangrijkste kenmerken van het in hoofdstuk 2 beschreven systeem in zich heeft, maar dat niet in alle details met de werkelijkheid overeenkomt.

#### 3.1 Keuze van het simulatiemedium

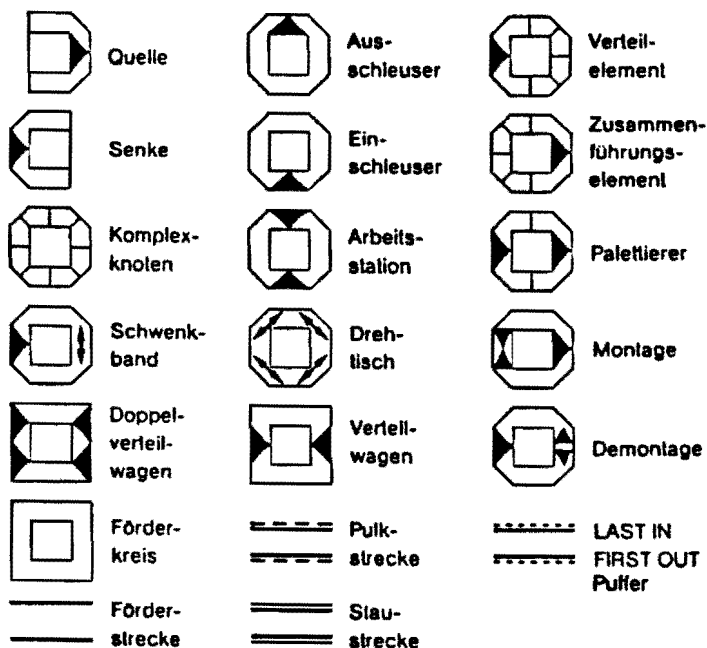
Gezocht werd naar een medium waarin een dergelijk model kon worden gebouwd en beproefd, hetzij een simulatiepakket, hetzij een simulatietaal. Daar het vereiste model een globale benadering van de werkelijkheid zou moeten zijn, werd gezocht naar een geschikt simulatiepakket en werd de mogelijkheid om met behulp van een simulatietaal een zeer gedetailleerd model te maken verworpen.

Aan de hand van een vergelijkende studie van simulatiepakketten en -talen van het Instituut Informatie-Technologie voor Productieautomatisering (I.T.P.) werd al snel een keuze gemaakt voor het pakket DOSIMIS 3. Dit simulatiepakket is geschreven door het Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Waren-distribution (ITW) en het Simulationsdienstleistungszentrum (SDZ). DOSIMIS 3 is geschreven om materiaalstromen binnen bedrijven te simuleren.

#### 3.2 DOSIMIS 3

In DOSIMIS 3 kan men op relatief eenvoudige wijze met behulp van bouwstenen die men tot zijn beschikking heeft een model opbouwen dat de werkelijke materiaalstroom benadert. De beschikbare bouwstenen zijn onder andere bewerkingsstations, montage- en demontage-elementen, transportbanden, draaitafels en transport-

kranen. Verder zijn er elementen om produkten in het systeem te brengen, de zogenaamde "Quellen", en elementen om de gereede produkten uit het systeem af te voeren, de zogenaamde "Senke's". (In bijlage 4 wordt een overzicht gegeven van de binnen DOSIMIS 3 te gebruiken bouwstenen.) Door deze bouwstenen op de gewenste wijze te verbinden kan men een materiaalstroom naar believen definiëren.



Figuur 2: Beschikbare bouwstenen in DOSIMIS 3.

Behalve de standaardparameters als bewerkingstijden, inrijtijden en dergelijke hebben enkele bouwstenen de mogelijkheid om strategieën te definiëren. Als de materiaalstroom uit meerdere ingangen kan komen, is er de mogelijkheid een opnamestrategie te definiëren. Hetzelfde is mogelijk met behulp van een verdeelstrategie als het materiaal door meerdere uitgangen de bouwsteen kan verlaten. Tevens kunnen de bouwstenen bediend worden door werknemers die meerdere bouwstenen afwisselend kunnen bedienen en kunnen de bouwstenen storingsgevoelig gemaakt worden en de invloed van dergelijke storingen zichtbaar gemaakt worden. Deze laatste twee mogelijkheden zijn in de modellen die in het kader van deze onderzoekopdracht gemaakt zijn niet gebruikt.

## Hoofdstuk 4. Modelvorming

Om het gemechaniseerd stavenmagazijn en zijn invloedsfactoren te bestuderen zijn met behulp van DOSIMIS 3 drie modellen gemaakt die ieder een ander aspect van het magazijn moeten verduidelijken. Alvorens het basismodel te presenteren waarop de andere twee modellen zijn gebaseerd en de verschillen tussen de drie modellen te bespreken, wordt eerst aandacht besteed aan de modellering van enige aspecten van het gemechaniseerd stavenmagazijn die voor alle drie de modellen identiek zijn.

### 4.1 Orderverwerking

Door middel van 9 "Quellen" worden de te bewerken produkten aangeboden aan het systeem. In iedere "Quelle" is een rij produkten gedefinieerd met bijbehorende verhoudingsgetallen. Na een bepaalde tijd, taktijd genaamd, genereert een "Quelle" willekeurig uit deze rij een produkt. De taktijden worden bepaald uit een normale verdeling en zijn instelbaar. In bijlage 5 is weergegeven welke produkten worden gegenereerd en met welke verhoudingsgetallen. Tevens is aangegeven welk orderpakket, kijkend naar de gegevens van MAGSYS en van de formulieren, een reële orderstroom zou weergeven, hoe dit orderpakket er in het model uit zou zien en hoe de verhoudingen tussen de verschillende produkten na de simulatie's werkelijk zijn.

produkt	gewenst percentage
900	8.7
100	5.6
200	7.3
300	13.6
400	10.3
500	17.3
600	14.9
700	10.9
800	8.8

Tabel 5: Gewenste verdeling van produkten.

De MBA transporteert de gegenereerde produkten naar het juiste zaagstation en na de bewerking weer terug naar de stelling. In het model is dit weergegeven door zogenaamde "Senke's". Met behulp van deze bouwstenen worden de gereede produkten uit het systeem afgevoerd.

#### 4.2. Doelsturing

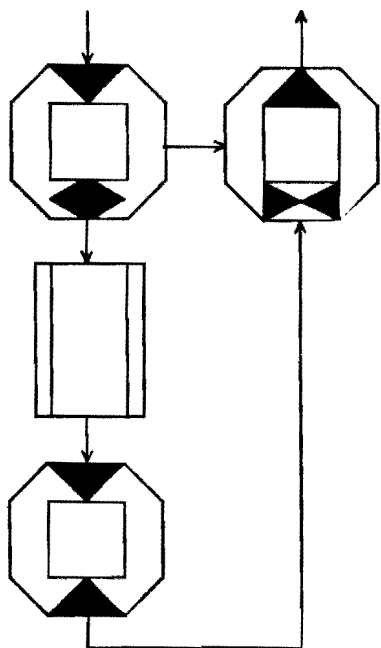
De centrale bouwsteen, de MBA, heeft 18 ingangen en 18 uitgangen. Van en naar de bewerkingsstations lopen respectievelijk 9 in- en 9 uitgangen; van de "Quellen" komen 9 ingangen het systeem in en naar de "Senke's" lopen nog eens 9 uitgangen. De MBA wordt hiertussen gestuurd door middel van doelsturing, dat wil zeggen dat afhankelijk van het produkt het doel wordt uitgezocht. Bij iedere uitgang wordt gedefinieerd welke produkten afgegeven mogen worden.

Voordat de MBA bij één van de 18 ingangen een produkt pakt, wordt eerst gekeken of de uitgang waar dit produkt naar toe moet, gereed is om een nieuw produkt op te nemen. De keuze van de ingang wordt gemaakt met behulp van een gedefinieerde opnamestrategie. (In hoofdstuk 5 zal bekeken worden welke invloed de afzonderlijke opnamestrategieën op het systeem hebben.) Indien volgens de doelsturing voor een bepaald produkt meerdere uitgangen mogelijk zijn, dan wordt met behulp van een tweede verdeelstrategie een keuze gemaakt uit de mogelijkheden. In het model enkelkraan kan een bepaald produkt slechts bewerkt worden op één bepaalde machine. Produkt 400 mag bijvoorbeeld slechts bewerkt worden op machine 4. Hierdoor heeft een tweede verdeelstrategie geen effect.

#### 4.3. Dubbelstations

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 vindt de orderafhandeling bij de dubbelstations op een speciale manier plaats. Er zijn minimaal twee cassettes in het station aanwezig. De in- en uitgang van deze stations zijn gekoppeld, doordat er altijd eerst een nieuwe cassette wordt gebracht en daarna meteen de oude wordt weggezet. Het is binnen DOSIMIS 3 niet mogelijk om deze koppeling te modelleren. Met behulp van informatie-elementen is wel een goede

benadering van de werkelijkheid te krijgen. In het model van de dubbelstations wordt er op deze wijze voor gezorgd dat er minstens één produkt in het station aanwezig is. Dit produkt kan pas afgevoerd worden als een nieuw produkt in bewerking genomen wordt.



Figuur 3: Model dubbelstations

#### 4.4. Bewerkingstijden

Zoals reeds in paragraaf 2.3 is opgemerkt, zijn slechts voor de stations 2 t/m 5, 7 en 8 gegevens te halen uit MAGSYS over gemiddelde bewerkingstijden in het verleden. Het is nodig enige vraagtekens te zetten bij de gegevens over deze stations. Het blijkt dat sommige bewerkingstijden te laag worden ingeschat zodat er over werkelijke gemiddelde bewerkingstijden moeilijk iets te zeggen is. Een ander lastig punt bij het bepalen van gemiddelde bewerkingstijden is het ontbreken van informatie over stations 9, 1 en 6.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de werkelijke bewerkingstijden en dus ook niet over de stochastische verdeling van deze tijden. Gezien dit alles wordt besloten om voor zover beschikbaar uit te gaan van de gegevens uit MAGSYS. De andere bewerkingstijden worden geschat. Als verdeling wordt een ERLANG-verdeling gemodelleerd met  $k=2$ .

station	code	gem. bewerkingstijd (sec)
9	-	360
1	-	300
2	855	945
3	853	498
4	854	306
5	852	558
6	-	300
7	857	480
8	858	1053

Tabel 6: Gemiddelde bewerkingstijden per station.

#### 4.5 MBA parameters

Om te kijken hoe de MBA's zich voortbewegen in de tijd, worden metingen gedaan op de MBA's zelf. Er wordt eerst van één MBA het rij- en laad/losgedrag gemeten, waarna dit ook bij de andere MBA gebeurt. In deze meetperiodes stond de andere MBA in zijn uitwijkpositie. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in tabel 7.

MBA	1	2
$v_{gem}$ (m/s)	0.77	0.66
laadtijd (sec)	39.91	39.75
lostijd (sec)	38.90	38.29
dub.stat. (sec)	65.67	64.25

Tabel 7: MBA parameters.

Allereerst dient bij deze meetwaarden te worden opgemerkt dat beide MBA's vrij vroeg beginnen te remmen als ze in de buurt van de gewenste positie komen. Aangezien er (als het goed is) veel korte afstanden gereden moeten worden, betekent dit een lage gemiddelde snelheid. In de modellen wordt dit rijgedrag weergegeven door:  $v = 1$  m/s, snelheid tijdens het afremmen  $v_r = 0.33$  m/s en de lengte van de remweg wordt 5 m gesteld.

Als tweede punt moet opgemerkt worden dat, hoewel de gemiddelde laad- en lostijden allen vlak onder de 40 sec. zitten, er hier toch een misleidend beeld geschetst wordt. Het is namelijk gebleken dat het laden van een cassette vanuit een station langer duurt (circa 42 sec.) en het laden vanuit één van de stellingen korter (circa 38 sec.). Dit verschil is te verklaren doordat bij het laden vanuit een station de cassette verder van de kraan verwijderd is en een langere weg moet afleggen.

#### 4.6 Modellen

##### 4.6.1. Model enkelkraan

Het eerste en tevens basismodel dat gemaakt is met DOSIMIS 3, is het model waarin één MBA op de rails rijdt en de andere MBA geen opdrachten uitvoert. In dit model zijn alle hiervoor beschreven modelleringen verwerkt. Het model enkelkraan is gemaakt om voor één MBA de invloeden van de verschillende parameters te bekijken. De invloeden van strategieën, rijparameters en orderafhandeling op de prestaties van het systeem zijn met behulp van dit model goed te bestuderen. Het model enkelkraan wordt getoond in figuur 6, bijlage 7.

##### 4.6.2. Model dubbelkraan.

In het tweede model wordt uitgegaan van het basismodel waaraan een tweede MBA wordt toegevoegd. Doel van dit tweede model is de invloed van een extra MBA op de orderafhandeling zichtbaar te maken. Dit model wordt getoond in figuur 7, bijlage 7.

In dit model worden met behulp van "Komplex-Knoten" (KKN, zie bijlage 4) verbindingen gemaakt van alle in- en uitgangen naar beide MBA's. De verdeling van taken tussen de MBA's, zoals beschreven in paragraaf 2.2, wordt hier gehandhaafd. In iedere KKN wordt met behulp van prioriteiten aangegeven welke in- of uitgang bij voorkeur bediend moet worden. Ook binnen de MBA's wordt bij de opname- en verdeelstrategie met behulp van prioriteiten aangegeven welke in- en uitgangen bij die MBA prioriteit hebben.



Een beperking binnen het model is dat de MBA's geen rekening met elkaar houden en elkaar vrij kunnen passeren. Na iedere simulatie die met behulp van dit model uitgevoerd is, moet worden gekeken hoeveel keren de MBA's elkaar passeren. Dit geeft een indicatie van de modelfout.

#### 4.6.3. Model tweebak

In het derde model wordt gebruik gemaakt van een bouwsteen die twee produkten tegelijkertijd kan transporteren. Doel van dit model is te bekijken of het zin heeft in een aangepaste PLC-besturing dit mogelijk te maken. De MBA's zijn immers uitgerust met de mogelijkheid om twee cassettes tegelijkertijd te vervoeren. De bouwsteen die hiervoor gebruikt wordt, is de "Doppel Verschiebe Wagen" (DVW). Deze bouwsteen wordt beschreven in bijlage 4. Het totale model wordt getoond in figuur 8, bijlage 7.

Door deze nieuwe mogelijkheden binnen het model, zullen er ook nieuwe strategieën gedefinieerd moeten worden. Overheersend blijft de doelsturing. Verder zullen er behalve de reeds eerder genoemde opname- en verdeelstrategie voor enkelstukstransporten, strategieën gedefinieerd moeten worden om bij de dubbelstuksstransporten keuzes te kunnen maken tussen de verschillende mogelijkheden.

Bij het opbouwen en testen van dit laatste model is gebleken dat de bouwsteen DVW nog niet geheel operationeel is. Hierdoor is het onmogelijk betrouwbare uitspraken te doen met dit model. Deze nog weinig gebruikte bouwsteen verkeerde tot voor kort nog in een ontwikkelingsstadium en zal waarschijnlijk in een volgende versie van het pakket DOSIMIS beter werken.

## Hoofdstuk 5. Resultaten

Met behulp van de modellen enkel- en dubbelkraan worden simulaties uitgevoerd om de verschillende aspecten van het gemechaniseerde stavenmagazijn te bekijken. Na enige inleidende opmerkingen over de uitvoering van de simulaties worden aan de hand van de figuren 9 t/m 15 in bijlage 8 de resultaten van de simulaties besproken.

### 5.1 Inrichting simulaties

Bij de uitvoering van de simulaties wordt gekozen voor het simuleren van de activiteiten van het magazijn tijdens één ploeg, dat wil zeggen dat de duur van één simulatie gelijk is aan 480 minuten. Om rekening te houden met effecten bij het inwerken van een ploeg, het wisselen van de diensten en aan- en afloop bij de pauzes, worden de eerste 60 minuten van deze 480 beschouwd als inloop. Na deze 60 minuten simulatie, worden de statistische parameters genuld en gedurende de rest van de simulatie opnieuw bepaald. Op deze manier wordt in de resultaten van de simulaties zo goed mogelijk weergegeven wat er mogelijk is tijdens de normale activiteiten van een ploeg.

Uit alle gegevens die beschikbaar komen na een simulatie wordt een keuze gemaakt met betrekking tot de relevante kengetallen. Als beoordelingskenmerken van een simulatie worden gehanteerd:

- \* het aantal verwerkte orders per ploeg; dit is het aantal afgehandelde opdrachten per ploeg.
- \* de bewerkingstijd; het percentage van de simulatietijd dat er een produkt op een station in bewerking is, gemiddeld over de negen stations.
- \* de rijtijd; het percentage van de simulatietijd dat er een produkt op een station wordt binnengehaald, gemiddeld over de negen stations.
- \* de blokkeertijd; het percentage van de simulatietijd dat er een produkt gereed op een station gereed is en nog niet afgevoerd, gemiddeld over de negen stations.
- \* de wachttijd; het percentage van de simulatietijd dat er geen produkt aanwezig is op een station, gemiddeld over de negen stations.

## 5.2 Scheduling

Als eerste wordt bij het model enkelkraan gekeken welke invloed enkele opnamestrategieën hebben op de prestaties van het stavenmagazijn. Een aantal strategieën worden hiervoor beproefd. De resultaten zijn gerangschikt naar afnemende bewerkingstijd en weergegeven in figuur 9, bijlage 8. Tevens is hier in tabel 11 aangegeven welke strategieën zijn beproefd.

## 5.3 Orderverwerking

Vervolgens wordt de frequentie waarmee de orders gegenereerd worden gevarieerd. Doel hiervan is te kijken wat de maximale verwerkingscapaciteit is van een MBA. Zowel bij het model enkelkraan als bij het model dubbelkraan, worden deze simulaties doorgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 10, 11 en 12, bijlage 8.

De fouten die in model dubbelkraan gemaakt worden liggen in de orde van 3 fouten per gesimuleerd uur, dat wil zeggen dat de MBA's elkaar 3 maal per uur ongeoorloofd passeren. Dit getal is relatief klein door het goed rangschikken van de cassettes in de stellingen.

## 5.4 MBA parameters

Als laatste wordt met behulp van het model enkelkraan de invloed van enkele MBA parameters op de orderafhandeling bekeken. Doel hiervan is een beeld te krijgen van de winst die te behalen is door een van deze parameters te wijzigen. De parameters die bekeken zijn, zijn achtereenvolgens de laad/los-tijden, de remweg en de rijsnelheid. De resultaten zijn weergegeven in figuur 13, 14 en 15, bijlage 8.

## Hoofdstuk 5. Conclusies

\* In het model enkelkraan is gebleken dat de invloed van de diverse opnamestrategieën op de bewerkingstijd niet erg groot is. De keuze voor een nieuwe strategie zal dus bepaald moeten worden door het aantal verwerkte orders per ploeg. De beste opnamestrategie is in deze situatie het algoritme van minimalisering van de weglengte. Met behulp van dit algoritme wordt op een bepaald tijdstip bepaald voor welke volgende opdracht het minste gereden hoeft te worden. Er is bij dit algoritme geen sprake van het verder kijken in de tijd. Gezien het stochastische karakter van de bewerkingstijden zou dit ook erg moeilijk realiseerbaar zijn.

\* De maximale verwerkingscapaciteit van één respectievelijk twee MBA's zijn 130 en 220 opdrachten per ploeg. Er is hierbij uitgegaan van een remweg die teruggebracht is naar 1 m.

\* Bij het verbeteren van het rijgedrag van de MBA's zal de meeste aandacht besteed moeten worden aan het verkleinen van de laad/los-tijden. Indien de rijafstanden verkleind kunnen worden zal dit een nog belangrijker aspect worden.

\* Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 2 zijn er grote verschillen tussen wat het administratieve systeem MAGSYS registreert en wat er werkelijk gebeurt in het gemechaniseerd stavenmagazijn. Voor een betere beheersing van de orderstromen in het stavenmagazijn is het noodzakelijk dat er beter geregistreerd wordt wat er werkelijk gebeurt in en om het stavenmagazijn.

## Hoofdstuk 7. Aanbevelingen

\* Gezocht zal moeten worden naar een methode om de verschillende cassettes goed geplaatst te krijgen in de stellingen. Hiermee wordt bedoeld dat de cassettes gegroepeerd dienen te worden rond de afgiftestations. Dit zou de gemiddelde rijtijd aanzienlijk verkorten en bovendien de interacties tussen de MBA's tot een minimum beperken.

\* Een betere beheersing van de gegevens zal het mogelijk maken efficiënter en effectiever de gang van zaken rond het stavenmagazijn te sturen. Een eerste stap naar verbetering moet zijn het vaststellen van werkelijke orderstromen en MBA-bewegingen. Het registreren van gegevens over langere periodes moet dan uiteindelijk de mogelijkheid bieden betere uitspraken te doen over het gemechaniseerd stavenmagazijn met betrekking tot seizoensinvloeden, stijgen of dalen van de totale marktvraag over langere perioden en dergelijke.

\* Als men verbeteringen wil aanbrengen aan het systeem zonder te denken aan een nieuwe besturing, dan is het de moeite waard de laad- en losprocedure kritisch te bekijken. Door deze te verbeteren en daardoor te versnellen is relatief veel capaciteitswinst te behalen.

\* Verder onderzoek naar een nieuwe besturing voor het gemechaniseerd stavenmagazijn zal in groter detail moeten ingaan op de precieze beslissingen die deze besturing moet nemen. Voor simulatie hiervan is DOSIMIS niet geschikt. Voor dit onderzoek zullen andere analysetechnieken en andere simulatieprogramma's gebruikt moeten worden.

## Literatuur

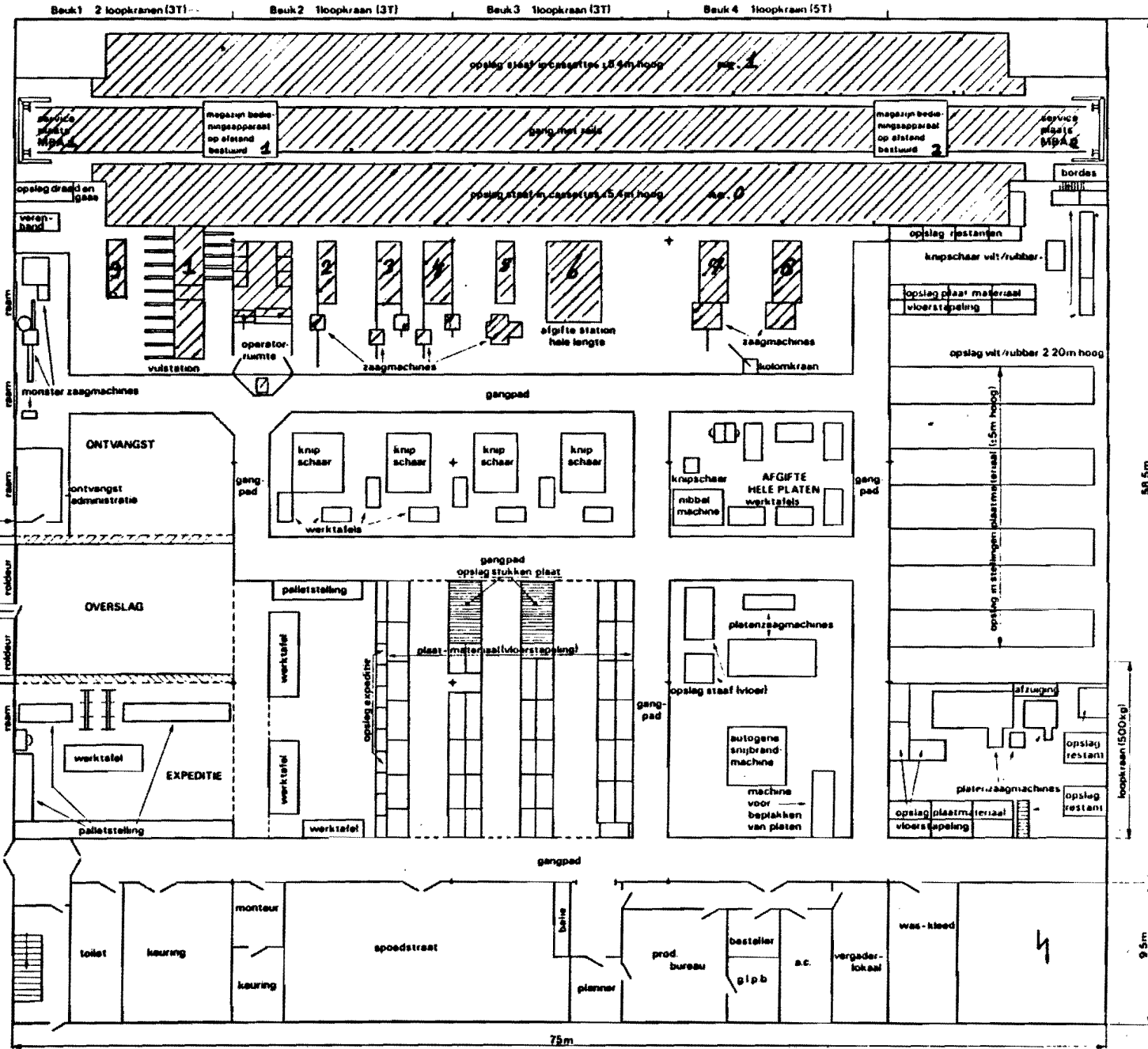
DOSIMIS 3,  
Benutzerhandbuch für die Version 4.0,  
ITW, SDZ.

Geldof S. en Verhofstad F.A.J.,  
"vergelijking van simulatietalen en -pakketen",  
I.T.P. D 89 ML 003, (1989).

van Hees W.J.,  
"Een automatisch stavenmagazijn t.b.v. enkel- en kleinserie-  
fabrikage",  
Materiaaldienst Philips, (1982).

Verrijck Th.H.,  
"Onderzoek besturing gemechaniseerd stavenmagazijn",  
Philips MFR-20-0300-134, (1982).

Bijlage 1. Lay out  
 materiaaldienst



Figuur 4: Lay out materiaaldienst

## Bijlage 2. Globale indeling afgiftestations

station	naam machine	type station	soort materiaal
9	open station	enkel hand.	hele lengtes en slijpwerk
1	vulstation	enkel hand.	vullen, alle cassettes
2	Kasto beugelzaag	enkel half.	∅ 90-300mm
3.1	Bimax	enkel half.	grote series, ∅ 4-20mm lengte 2-500mm
3.2	Wahlen	enkel hand.	∅ 4-30mm lengte 2-4000mm
4.1	Ohler	enkel half.	∅ 30-70mm lengte 2-6000mm
4.2	Wagner	enkel half.	∅ 10-35mm lengte 2-500mm
5	Trennjaeger	enkel hand.	lange stukken, ∅ 25-100mm verstekzagen 0-45°
6	hele lengtes	dubbel hand.	hele lengtes
7	Kasto PKS 130	dubbel vol.	∅ 30-100mm lengte > 9mm
8	Kasto HBA	dubbel vol.	∅ 90-300mm lengte > 13mm

Tabel 8: Globale indeling afgiftestations.

### Opmerkingen:

vol. = volautomatisch: uitnemen van materiaal en zagen gebeurt automatisch

half.= halfautomatisch: uitnemen van materiaal met de hand, zagen gebeurt automatisch

hand.= handbediend: uitnemen van materiaal en zagen gebeurt met de hand



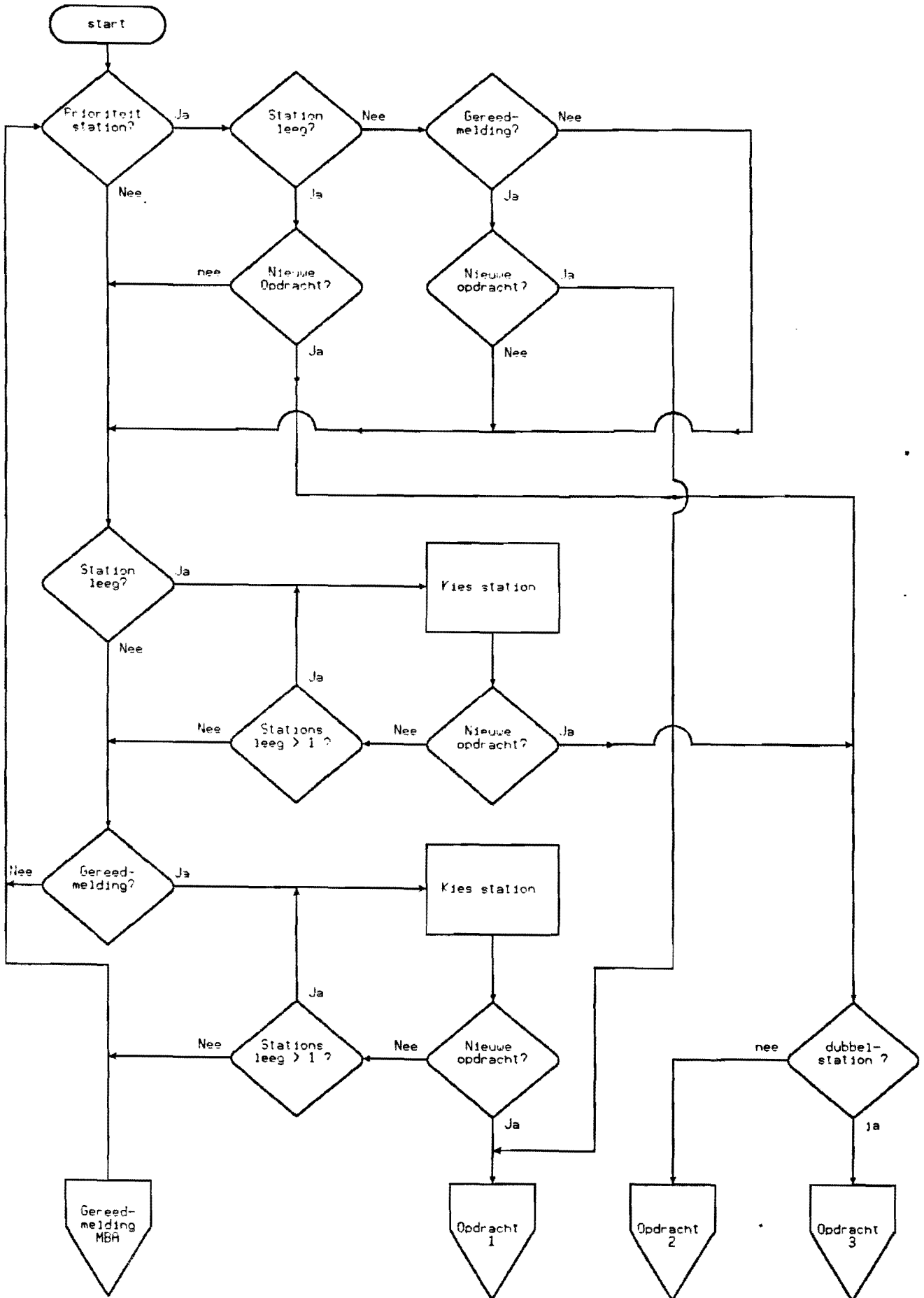
enkel = enkelstation, slechts één cassette tegelijkertijd aanwezig bij het station

dubbel= dubbelstation, voortdurend minstens twee cassettes aanwezig bij het station

De stations 2 t/m 5 hebben een beperking wat betreft het gewicht van de te zagen onderdelen: max. 20 kg

De verdeling van orders over de stations 2 t/m 5 is niet eenduidig. De operator stuurt de orders aan de hand van een aantal criteria: soort materiaal, lengte van de te zagen stukken, seriegrootte en bezettingsgraad van de machine.

### Bijlage 3. Flowchart PLC-algoritme



Figuur 5: Flowchart PLC-algoritme

#### Bijlage 4. DOSIMIS 3.

Het nu volgende gedeelte is een stuk van de handleiding van DOSIMIS 3. De verschillende bouwstenen worden hierin in detail besproken. Tevens wordt aandacht besteed aan de verschillende opname- en verdeelstrategieën (Vorfahrts- en Verteilregeln). Als laatste wordt iets verteld over de verschillende verdelingsfuncties waarmee men in een aantal bouwstenen kan werken.

# SIMIS 3

Simulation des Materialflusses  
innerbetrieblicher Systeme

Benutzerhandbuch für die Version 4.0

Dipl.-Inform. Helmut Peters  
Dipl.-Math. Alfons Teriete  
Cand.-Math. Martina Hoermann

Fraunhofer-Institut für  
Transporttechnik und  
Warendistribution (ITW)  
Emil-Figge-Str. 75  
4600 Dortmund 50

Simulationsdienst-  
leistungszentrum GmbH  
(SDZ)  
Emil-Figge-Str. 75  
4600 Dortmund 50

## 2.1. Die Bausteinebene

Der Simulator enthält eine Reihe von Bausteintypen, die im folgenden mit ihrer grundlegenden Funktionsweise beschrieben werden. Die Bausteine aller Typen werden über Verbindungsknoten miteinander gekoppelt. Die Knoten dienen in der Simulation als Melder, die Informationen zwischen den Bausteinen übermitteln.

Bei den Verbindungen von Bausteinen gibt es Restriktionen, die am Ende der Beschreibung der Bausteinebene aufgelistet sind.

### 2.1.1. Die Quelle

In Materialflußsystemen werden Materialien, die sich eventuell untereinander stark unterscheiden, durch das System hindurchtransportiert. Sie treten an bestimmten Stellen in das System ein, werden transportiert, bearbeitet, montiert oder demontiert, und verlassen das System an ebenfalls wohldefinierten Stellen. Die Eintrittspunkte des Materials werden mit dem Bausteintyp "QUELLE" abgebildet.

In einer Quelle laufen während der Simulation zwei unabhängige Prozesse ab, ein Generierungs- und ein Abgabeprozess. Der Generierungsprozess erzeugt die Objekte und weist ihnen gemäß einer zu definierenden Strategie einen oder mehrere Objekttypen zu, mit denen sie in bezug auf ihr Routing- und Bearbeitungsverhalten unterschieden werden können. Dieser Prozess wird auf der Strategieebene genauer beschrieben.

Der Abgabeprozess sorgt dafür, daß die generierten Objekte an das System übergeben werden. Die Quelle besitzt einen Ausgang, der mit einem anderen Baustein verbunden ist. Die Objekte sind in einer Liste gesammelt, die gemäß der Generierungszeitpunkte aufsteigend sortiert ist. Für das erste Objekt (mit dem frühesten Generierungszeitpunkt) wird festgestellt, ob der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit ist.

Sollte dies der Fall sein, so wird das Objekt an diesen Baustein abgegeben. Ansonsten wird der Prozess bis zur Freimeldung des Nachfolgerbausteins angehalten.

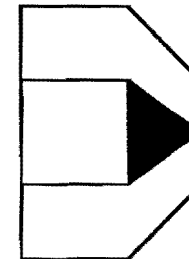


Bild 2.1: Das Quellsymbol

### 2.1.2. Die Senke

Die Objekte treten wie bereits oben erwähnt nach ihrem Systemdurchlauf an wohldefinierten Stellen aus dem System aus. Die Austrittspunkte werden durch den Bausteintyp "SENKE" modelliert.

In der Senke werden die Objekte aufgenommen und nach Ablauf einer Zeitspanne (Senkentakt) aus dem System entfernt. Jede Senke besitzt einen Eingang, der mit einem anderen Baustein des Systems verknüpft ist. Ein Objekt, das in die Senke einfährt, gibt den Verbindungsknoten am Eingang sofort frei. Die Kapazität der Senke ist ein Objekt, so daß jedes weitere Objekt erst nach Ablauf des Senkentakts in den Baustein eintreten kann.

Der Senkentakt dient zur Modellierung eines Abnahmeprozesses, der nur beschränkt Objekte aus dem System entfernen kann. Beispiele hierfür sind Stapler und Regalförderzeuge (RFZ). Die Dauer der Zeitspanne wird mit einer der Verteilungsfunktion ermittelt, die auf der Strategieebene erklärt werden.

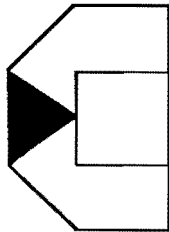


Bild 2.2: Das Senkensymbol

### 2.1.3. Die Förderstrecke

In Stetigfördersystemen findet man häufig Förderabschnitte, innerhalb derer die Objekte nicht aufeinander auffahren können. Die entsprechenden Technologien sind etwa die Band-, Gurt- oder Tragkettenförderer. Solche Strecken werden als "FÖRDERSTRECKEN" abgebildet.

Eine Förderstrecke besitzt je einen Eingang und einen Ausgang, ihre Aufnahmekapazität wird durch ihre Länge und die Länge der zu transportierenden Objekte bestimmt. Die Objektlänge ist in einer Förderstrecke für alle Objekttypen gleich.

Ein Objekt tritt am Eingang in die Förderstrecke ein und belegt diesen solange, bis es mit voller Länge eingefahren ist. Danach wird der Verbindungsknoten am Eingang freigegeben und das Objekt in konstantem Abstand zu seinen Vorgängern zum Ausgang transportiert. Für ein Objekt, das den Ausgang erreicht, wird überprüft, ob es in den nachfolgenden Baustein einfahren kann. Sollte eine Weiterfahrt möglich sein, so wird es ohne weitere Verzögerung an diesen Baustein abgegeben.

Ist eine Weiterfahrt nicht möglich, so wird die gesamte Förderstrecke angehalten. Während

der Wartezeit, in der die Strecke steht, wird also kein Objekt weitergefördert. Auch ein Objekt, das den Eingang der Förderstrecke (und damit den Ausgang des Vorgängerbausteins) blockiert, gibt den zugehörigen Verbindungsknoten erst frei, wenn nach einem erneuten Start der Förderstrecke eine vollständige Einfahrt erfolgt ist.



Bild 2.3: Das Symbol einer Strecke

### 2.1.4. Die Staustrecke

Die zweite Form eines Förderabschnitts wird als "STAUSTRECKE" bezeichnet. Sie unterscheidet sich von der oben beschriebenen Förderstrecke dadurch, daß die Objekte aufeinander auffahren können. Auf diese Weise werden staufähige Stetigförderelemente (z.B. Rollenförderer mit mehreren Antrieben) oder auffahrgesteuerte EHB- bzw. FTS-Puffer abgebildet.

Eine Staustrecke besitzt einen Eingang sowie einen Ausgang und ist in eine feste Anzahl von Stausegmenten aufgeteilt. Diese Aufteilung ergibt sich durch die Position der Antriebe oder Melder.

Ein Objekt, das in eine Staustrecke einfährt, gibt den Verbindungsknoten am Eingang frei, wenn es das letzte Stausegment des Bausteins vollständig belegt. Danach wird das Objekt bis in das vorderste noch unbelegte Stausegment weitertransportiert. Wenn das vorderste Objekt an den Nachfolgerbaustein abgegeben werden kann, dann rücken alle wartenden Objekte um ein Stausegment vor.

Zu Beginn einer Simulation kann eine Staustrecke mit Objekten initialisiert werden. Auf diese Weise können Fahrzeugbahnhöfe mit Fahrzeugen bestückt oder ein Systemvorlauf verkürzt werden. Die Initialobjekte können dabei unterschiedliche Typen besitzen.

Das Symbol für eine Staustrecke entspricht dem von Bild 2.3.

### 2.1.5. Die Pulkstrecke

Eine spezielle Form einer Staustrecke ist die "PULKSTRECKE". Sie hat das gleiche fördertechnische Verhalten wie die Staustrecke, jedoch ist die Aufnahme und die Abgabe von Objekten durch eine Strategie eingeschränkt. Außerdem kann eine Pulkstrecke nicht mit Objekten initialisiert werden.

Die Pulkstrecke dient zur Ansammlung eines Objektpulks. Diese Art von Pulkbildung ist beispielsweise in einem Palettierbereich zur Aufstauung von vollständigen Palettenladungen oder bei einem Arbeitsplatz, der möglichst viele Objekte eines Typs nacheinander bearbeiten soll, zur Vorsortierung sinnvoll (Beispiel: Lackieranlagen). Die Objekte werden im allgemeinen erst aus der Pulkstrecke an den Nachfolgerbaustein

abgegeben, wenn alle Stauplätze belegt sind. Während der Ausfahrt eines Objektpulks ist die Einfahrt eines Objekts in die Pulkstrecke nicht möglich.

Die Abgabestrategie kann dahingehend verändert werden, daß bereits einzelne Objekte abgegeben werden können, oder daß ein noch unvollständiger Objektpulk ausfahren darf, weil in einem definierten Zeitraum seit der letzten Einfahrt kein weiteres Objekt in die Pulkstrecke eingefahren ist. Diese Zusatzstrategien sorgen im Einzelfall dafür, daß eine Pulkstrecke nicht unnötig lange blockiert bleibt.

Auch für die Pulkstrecke wird das Symbol aus Bild 2.3 verwendet.

### 2.1.6. Die Bearbeitungsstation

In fast allen Materialflußsystemen und insbesondere in Fertigungsanlagen werden die Objekte bearbeitet und verändert. Beispielsweise werden Palettenladungen umreift, Lagerkisten kommissioniert, Karossen lackiert, usw. Die Abbildung dieser Objektbearbeitungen erfordert einen Stationstyp, der als "BEARBEITUNGSSTATION" bezeichnet wird.

Eine Bearbeitungsstation besitzt einen Eingang und einen Ausgang und kann stets nur ein Objekt aufnehmen. Die Bearbeitung erfolgt auf einem Stauplatz, auf dem das Objekt für die Dauer der Bearbeitung angehalten wird.

Das Objekt fährt in die Arbeitsstation ein und gibt den Verbindungsknoten am Eingang frei, wenn es vollständig auf den Arbeitsplatz gefahren ist. Danach erfolgt die Bearbeitung des Objekts, bei der eine objekttypabhängige Bearbeitungszeit verstreicht, und bei deren Ende das Objekt seinen Typ ändern kann.

Die Möglichkeiten, wie die Bearbeitungsstation auf den Typ des Objekts einwirkt, und wie die Bearbeitungszeiten definiert werden, sind in der Strategieebene beschrieben. Außerdem ist zu erwähnen, daß die Bearbeitung bestimmter Objekttypen manuell erfolgen kann, so daß vor Beginn der Bearbeitung ein Werker angefordert werden muß. Die Einzelheiten zur manuellen Bearbeitung von Objekten sind auf der Arbeitsbereichsebene erläutert.

Aus fördertechnischer Sicht erfolgt nur noch die Abgabe des Objekts, wenn die Bearbeitung abgeschlossen ist und wenn der Nachfolgerbaustein frei ist.

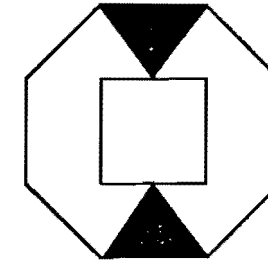


Bild 2.4: Das Symbol einer Bearbeitungsstation

### 2.1.7. Das Verteilelement

Für ein Objekt ergeben sich in einem Materialfluß häufig Transportalternativen, das heißt, daß der Objektfluß an bestimmten Stellen des Systems verteilt wird. Der allgemeinste Baustein, mit dem die Abbildung solcher Verteilpunkte im System möglich ist, heißt "VERTEILELEMENT".

Das Verteilelement hat einen Eingang und eine variable Anzahl von Ausgängen, aber mindestens zwei. Die Kapazität des Verteilelements ist ein Objekt, so daß stets nur ein Objekt gleichzeitig vom Eingang zu einem der Ausgänge transportiert werden kann. Der Förderweg und die Fördergeschwindigkeit ist zwischen dem Eingang und allen Ausgängen gleich.

Der Ausgang, den ein Objekt anfährt, wird mit einer der Verteilstrategien bestimmt, die auf der Strategieebene näher erläutert sind.

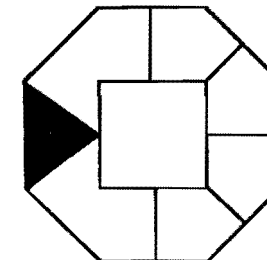


Bild 2.5: Das Symbol eines Verteilelements

### 2.1.8. Der Ausschleuser

Eine speziellere Form eines Verteilelements, die in Stetigfördersystemen häufig verwendet wird, ist der "AUSSCHLEUSER". Die technische Realisierung von Ausschleusern ist sehr vielfältig, beispielsweise werden dazu Pusher, Schwenkarne oder Kippschalen verwendet, mit denen ein Objekt aus einer Hauptförderrichtung abgezweigt wird.

Ein Ausschleuser hat einen Eingang und zwei Ausgänge. Die Verbindung mit dem ersten Ausgang heißt die Hauptförderrichtung und beschreibt im allgemeinen einen Geradeaus-transport des Objekts. Die andere Verbindung wird als Ausschleusrichtung bezeichnet und ist immer eine Abzweigung von der Hauptförderrichtung. Die Kapazität eines Ausschleusers beträgt ein Objekt.

Ein Objekt, das in den Ausschleuser einfährt, gibt den Verbindungsknoten am Eingang frei, wenn es die gesamte Durchförderstrecke zurückgelegt hat. Dann wird gemäß einer der auf der Strategieebene beschriebenen Verteilstrategien entschieden, ob das Objekt ausgeschleust werden muß.

Ist das der Fall, so legt das Objekt nun noch den Ausschleusweg zurück, bevor es in den entsprechenden Nachfolgerbaustein einfahren kann. Sollte die Durchförderrichtung ausgewählt worden sein, so kann das Objekt sofort in den anderen Nachfolgerbaustein einfahren. Die Voraussetzung für eine Weiterfahrt in einen der Nachfolgerbausteine ist natürlich, daß dieser aufnahmebereit ist.

Sollte es nicht möglich sein, das Ziel zu bestimmen, so wird das Objekt angehalten, bis eine eindeutige Entscheidung über den Weg gefällt werden kann. Darüberhinaus kann festgelegt werden, daß auszuschleusende Objekte im Ausschleuser nicht angehalten werden dürfen. Das bedeutet dann, daß ein Objekt, das am Ausschleusausgang anhalten müßte, weil der Nachfolger nicht aufnahmebereit ist, durch den Durchförderausgang weitertransportiert wird.

38

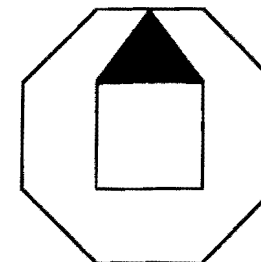


Bild 2.6: Das Ausschleusersymbol

### 2.1.9. Das Schwenkband

Ein weiterer spezieller Verteilbaustein für Stetigfördersysteme ist durch das "SCHWENKBAND" gegeben. Hierbei handelt es sich bei der technischen Realisierung um ein am Eingang beweglich aufgehängtes Förderband, das wahlweise einen von zwei möglichen Ausgängen anschwenken kann. Die Schwenkung kann sowohl horizontal als auch vertikal erfolgen.

Wie oben bereits angedeutet hat das Schwenkband einen Eingang und zwei Ausgänge. Das prinzipielle fördertechnische Verhalten entspricht dem der Förderstrecke, es kommt lediglich die Steuerung zu den Ausgängen hinzu. Welchen Ausgang ein Objekt anfährt, wird mit einer der auf der Strategieebene beschriebenen Verteilstrategien ermittelt. Da die Verteilstrategien unter Umständen zustandsabhängig sind, kann das Ziel für ein Objekt erst ermittelt werden, wenn es bis zu einem bestimmten Punkt auf dem Band transportiert wurde. Dieser Punkt befindet sich gerade soweit von den Ausgängen entfernt, daß noch zum anderen Ausgang geschwenkt werden kann.

Die Schwenkung vom ersten Ausgang zum zweiten Ausgang wird als Öffnung bezeichnet, der umgekehrte Vorgang als Schließung. Wenn für das vorderste Objekt im Schwenkband eine Öffnung oder Schließung erforderlich ist, so wird diese im allgemeinen durchgeführt, wobei sich das Förderband weiterbewegt. Sollte allerdings die Öffnungs- bzw. Schließzeit größer als die noch erforderliche Transportzeit zum Bandende sein, so gibt es zwei unterschiedliche Reaktionsmöglichkeiten.

Im ersten Fall hält das Schwenkband, wenn das Objekt das Bandende erreicht hat, an, bis die erforderliche Schwenkung beendet ist. Im zweiten Fall wird auf eine Schwenkung verzichtet und das Objekt wird durch den eingestellten Ausgang weitergefördert.

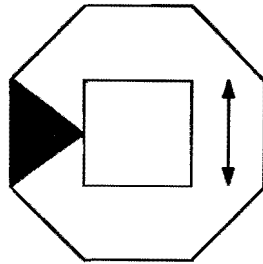


Bild 2.7: Das Schwenkbandsymbol

### 2.1.10. Das Zusammenführungselement

Das Analogon zum Verteilelement ist das "ZUSAMMENFÜHRUNGSELEMENT". Es dient zur Abbildung des umgekehrten Falls, nämlich der Zusammenführung von Objektflüssen.

Beim Zusammenführungselement ist die Anzahl der Eingänge variabel, es gibt jedoch mindestens zwei. Außerdem gibt es genau einen Ausgang. Das fördertechnische Verhalten entspricht dem des Verteilelements, das heißt, daß die Aufnahmekapazität ein Objekt beträgt und daß die Förderwege zwischen allen Eingängen und dem Ausgang gleich ist.

Aus welchem Eingang das nächste Objekt in das Zusammenführungselement einfahren darf, wird über eine der Vorfahrtsstrategien ermittelt, die auf der Strategieebene beschrieben sind.

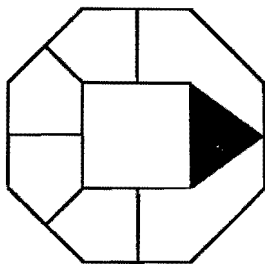


Bild 2.8: Das Symbol eines Zusammenführungselements

### 2.1.11. Der Einschleuser

In Stetigfördersystemen wird häufig ein spezielles Zusammenführungselement eingesetzt, das als "EINSCHLEUSER" bezeichnet wird. Die technischen Realisierungen sind meist ähnlich zu den Ausschleusern, es werden also Pusher oder Schwenkarne für die Einschleusung eingesetzt.

Ein Einschleuser besitzt zwei Eingänge und einen Ausgang, wobei die Verbindung des ersten Eingangs mit dem Ausgang die Durchförderichtung, die andere Verbindung die Einschleusrichtung ist. Die Aufnahmekapazität beträgt ein Objekt.

Der Eingang, aus dem das nächste Objekt in den Einschleuser einfahren darf, wird mit einer der auf der Strategieebene beschriebenen Vorfahrtsstrategien festgelegt. Danach wird das Objekt entweder über den Durchförderweg oder über den Einschleusweg zum Ausgang transportiert. Wenn es den Ausgang erreicht hat, wird der Verbindungsknoten am zugehörigen Eingang freigegeben.

Nach der Abgabe des Objekts an den Nachfolgerbaustein darf eine erneute Einschleusung erst erfolgen, wenn das Objekt vollständig in den Nachfolgerbaustein eingefahren ist, also der Verbindungsknoten am Ausgang freigegeben wurde.

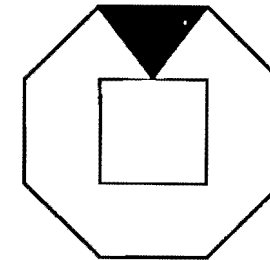


Bild 2.9: Das Einschleusersymbol

### 2.1.12. Der Komplex-Knoten

Zur Modellierung von Kreuzungen oder komplexeren Verteil- bzw. Zusammenführungselementen benutzt man den Bausteintyp "KOMPLEX-KNOTEN". Beispiele für fördertechnische Elemente, die mit Komplex-Knoten abgebildet werden können, sind Kreuzungen in FTS-Anlagen, Stausegmente, die in beide Richtungen befahren werden können, Verteil- bzw. Zusammenführungselemente, die unterschiedliche Förderwege zwischen den Ein- und Ausgängen besitzen.

Ein Komplex-Knoten besitzt eine variable Anzahl von Ein- und Ausgängen. Die Kapazität ist ein Objekt, so daß man einen Komplex-Knoten mit je einem Eingang und Ausgang als einfaches Stausegment auffassen kann. Zwischen den Ein- und Ausgängen können Verbindungspfade festgelegt werden, so daß die Menge der möglichen Pfade eingeschränkt



werden kann. Die einzige Bedingung ist, daß für jeden Eingang und jeden Ausgang mindestens ein Pfad definiert sein muß.

Der Eingang, aus dem das nächste Objekt in den Komplex-Knoten einfährt, wird durch eine der Vorfahrtsstrategien bestimmt. Danach fährt das Objekt in den Baustein ein, wobei zunächst die Förderzeit verstreicht, die für alle Pfade gilt. Nach Ablauf dieser Zeit wird der Eingangsknoten freigegeben. Anschließend wird mit einer der Verteilstrategien der Ausgang festgelegt, durch den das Objekt den Baustein verlassen soll. Das Objekt wird nun über den pfadabhängigen zusätzlichen Förderweg zum Ausgang transportiert.

Wenn der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit ist, wird das Objekt abgegeben. Wenn man fordert, daß kein Objekt im Komplex-Knoten anhalten darf, wird bereits vor der Einfahrt überprüft, ob der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit ist. In diesem Fall kann also jedes Objekt den Komplex-Knoten ohne Behinderung passieren.

Die Überprüfung des Wegs spielt bei Komplex-Knoten in Bausteinpulks eine wichtige Rolle. Bausteinpulks werden daher später noch gesondert definiert und betrachtet. Das nächste Objekt darf nun erst in den Komplex-Knoten einfahren, wenn das alte Objekt den Baustein vollständig verlassen hat, das heißt, wenn der Ausgangsknoten freigegeben worden ist.

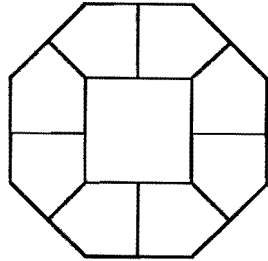


Bild 2.10: Das Symbol eines Komplex-Knotens

### 2.1.13. Der Drehtisch

Der "DREHTISCH" ist ein Bausteintyp, der sowohl in Stetigfördersystemen, in EHB-Systemen und in FTS-Anlagen vorkommt. Die Realisierungen können zum Teil sehr unterschiedlich sein, beispielsweise sind Drehtische mit einem oder mit zwei Förderabschnitten auf dem drehbaren Tisch denkbar, Förderabschnitte, die in einer oder in beiden Richtungen befahrbar sind, und Drehtische, die in einer oder in beiden Richtungen drehbar sind. Bei all diesen Realisierungsunterschieden ist gemeinsam, daß dadurch im wesentlichen nur die Drehzeit beeinflusst wird.

Der Drehtisch hat zwischen 2 und maximal 4 Anschlüssen, wobei jedoch mindestens ein Eingang und ein Ausgang vorhanden sein muß. Ein Eingang kann gegenüber den anderen dadurch ausgezeichnet werden, daß er als Grundstellung definiert wird. Sollte in einem

solchen Fall kein Objekt vorhanden sein, daß vom Drehtisch transportiert werden muß, so fährt er in die Grundstellung zurück und ist für ein Objekt an diesem Eingang aufnahmebereit.

Zwischen allen Ein- und Ausgängen gibt eine feste Drehzeit das Zeitintervall an, das bei der Drehung des Tisches verstreicht. Bei definierter Grundstellung müssen auch die Drehzeiten zwischen den Eingängen definiert werden.

Wenn ein Objekt am Drehtisch ankommt und gemäß der Vorfahrtsstrategie in den Drehtisch einfahren darf, wird dieser in die dazu notwendige Stellung gedreht. Nach Ablauf dieser Drehperiode fährt das Objekt über den Beladeweg auf den Drehtisch und gibt danach den Eingangsknoten frei. Dann erfolgt die Drehung zu dem Ausgang, der gemäß der Verteilstrategie ausgewählt wurde. Ist der Ausgang erreicht, so muß noch der Entladeweg zurückgelegt werden, bevor sich das Objekt am Ausgang anmeldet, um in den Nachfolgerbaustein einzufahren. Ein neues Objekt darf erst in den Baustein einfahren, wenn das alte Objekt den Ausgang wieder freigegeben hat, woraus sich ergibt, daß sich maximal ein Objekt im Drehtisch befinden kann.

Bei Drehtischen mit je zwei Ein- und Ausgängen muß vor der Einfahrt eines Objektes generell gesichert sein, daß der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit ist. Diese Eigenschaft ist bei den später beschriebenen Bausteinpulks detaillierter erläutert.

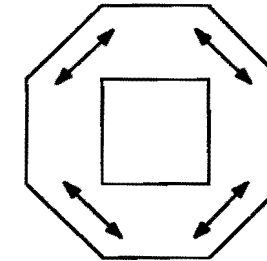


Bild 2.11: Das Drehtischsymbol

### 2.1.14. Der Verteilwagen

Mit Hilfe des Bausteintyps "VERTEILWAGEN" kann man Bauelemente abbilden, die für den Transport eines Objekts ein fest mit dem Bauelement verbundenes Transportmittel verwenden. Dies ist beispielsweise bei Aufzügen (Senkrechtförderer) oder bei Verschiebewagen der Fall.

Die Anzahl der Ein- und Ausgänge eines Verteilwagens ist variabel, jedoch müssen je ein Ein- und Ausgang vorhanden sein. Die Aufnahmekapazität des Verteilwagens ist ein Objekt.

Mit Hilfe einer Vorfahrtsstrategie wird der Eingang bestimmt, aus dem das nächste Objekt abzuholen ist. Der Transportwagen wird zu diesem Eingang gefahren. Das Objekt fährt den

Beladeweg und befindet sich dann vollständig auf dem Transportwagen, so daß der Verbindungsknoten am Eingang freigegeben werden kann.

Anschließend fährt der Transportwagen das Objekt zu dem Ausgang, der durch die Verteilstrategie festgelegt wurde. Dort meldet sich das Objekt nach der Förderzeit für den Entladeweg am Nachfolgerbaustein an. Dieser muß generell aufnahmebereit sein, sonst kann der Verteilwagen ein Objekt nicht transportieren. Deshalb werden Verteilwagen auch als Bestandteil von Bausteinpulks angesehen, die in einem späteren Kapitel beschrieben sind.

Der nächste Transport kann erst erfolgen, wenn das Objekt vollständig im Nachfolgerbaustein eingefahren ist, also der Verbindungsknoten am Ausgang freigegeben wurde.



Bild 2.12: Das Verteilwagensymbol

### 2.1.15. Der Doppelverschiebewagen

In Lagervorzonen werden zur Verbesserung der Leistung Verteilwagen eingesetzt, die mehrere Wagentische besitzen. Dadurch können mehrere Objekte parallel be- und entladen werden, so daß Leerfahrtanteile oder ähnliches verringert werden können. Ein solcher Verteilwagen mit zwei Wagentischen wird mit dem Bausteintyp "DOPPELVERSCHIEBEWAGEN" abgebildet.

Die definierenden Merkmale des Bausteins sind ähnlich wie beim Verteilwagen. Die Anzahl der Ein- und Ausgänge ist beliebig, allerdings beträgt die maximale Aufnahmekapazität des Doppelverschiebewagens 2 Objekte.

Die wesentliche Eigenschaft des Doppelverschiebewagens ist das parallele Be- und Entladen von zwei Objekten, auch Doppelspiel genannt. Es werden 3 Arten von Doppelspielen unterschieden:

1. 1 Objekt wird beladen und 1 Objekt wird entladen;
2. 2 Objekte werden beladen;
3. 2 Objekte werden entladen;

Die Anschlußkombinationen für Doppelspiele sind explizit festgelegt. Außerdem wird ein Eingang bzw. ein Ausgang immer nur von einem der beiden Wagentische bedient.

Beim Beladen muß ein Objekt den Beladeweg mit der Transportgeschwindigkeit zurücklegen. Danach steht das Objekt vollständig auf dem Wagentisch, so daß der Eingangsknoten freigegeben werden kann. Danach wird das Objekt zum gewünschten Ausgang befördert, wobei zu Beginn und am Ende der Fahrt eine Hubzeit für das Ab- und Ankoppeln des Wagentisches verstreicht. Beim Entladen ist dann der Entladeweg zurückzulegen.

an dessen Ende sich das Objekt am Ausgang anmeldet. Ist der Nachfolger aufnahmebereit, wird das Objekt abgegeben. Der Wagen steht für den nächsten Transport zur Verfügung, wenn der zugehörige Ausgangsknoten wieder freigegeben wurde.

In der Regel wird der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit sein, da vor dem Beladen für das Objekt überprüft wird, ob es an diesen Baustein abgegeben werden kann. Dennoch ist nicht auszuschließen, daß die Aufnahmebereitschaft bei der Ankunft am Ziel durch eine Störung, Pause oder Knotenspernung nicht mehr vorliegt.

Die Bestimmung des nächsten Objekts, das transportiert werden soll, und die Festlegung seines Ziels erfolgt mit zwei Vorfahrts- und drei Verteilstrategien, die in einer festen Beziehung zueinander stehen. Dieses strategische Verhalten des Doppelverschiebewagens ist auf der Strategieebene erläutert.

Das Symbol des Verteilwagens wird auch für den Doppelverschiebewagen verwendet.

### 2.1.16. Der Förderkreis

Eine Standardstruktur in Stetigfördersystemen ist der "FÖRDERKREIS". Er dient zur Abbildung von Sortierkreisen, Wandertischen usw., die die Eigenschaft haben, zu keiner Zeit anzuhalten. Die Objekte in einem Förderkreis sind also stets in Bewegung, so daß zwei Objekte ihren Abstand nicht verändern.

Der Förderkreis ist ähnlich wie die Staustrecke segmentiert, wobei jedes Segment ein Objekt aufnehmen kann. Die Anzahl der Ein- und Ausgänge ist variabel, es muß jedoch mindestens ein Eingang und ein Ausgang vorhanden sein. Das Verhalten des Förderkreises ist getaktet, wobei jeder Takt den Fortschritt um ein Stauesegment bedeutet.

Die Aufnahme und Abgabe von Objekten ist nur zwischen zwei Takten möglich. Dabei wird jedes Objekt, daß sich an einem Ausgang befindet, der für diesen Objekttyp zulässig ist, ausgeschleust, sofern der Nachfolgerbaustein aufnahmebereit ist. Alle Objekte, die an einem Eingang warten, werden eingeschleust, sofern gerade ein freies Segment diesen Eingang passiert. Die Verbindungsknoten der Eingänge werden beim nächsten Takt wieder freigegeben, die Freigabe der Ausgangsknoten hat keinen Einfluß auf die Funktionalität des Förderkreises.

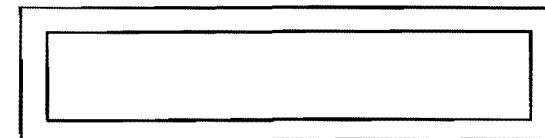


Bild 2.13: Das Förderkreissymbol

### 2.1.17. Das Montageelement

Zur Abbildung von Objektverschmelzungen, die beispielsweise durch eine Fertigung oder durch eine Lastaufnahme einer Elektrohängebahn gegeben sein kann, verwendet man das "MONTAGEELEMENT".

Ein Montageelement besitzt einen Ausgang und mehrere Eingänge, mindestens aber zwei. Der erste Eingang ist der Transporteingang für das Objekt, auf das weitere Objekte montiert werden können. Die zu montierenden Objekte gelangen durch jeweils einen der übrigen Eingänge in das Montageelement, weshalb diese Eingänge Montageeingänge heißen.

Für ein Montageelement werden Objekttypen definiert, für die eine Montage durchgeführt werden muß. Alle übrigen Objekttypen werden durch das Montageelement hindurchtransportiert wie durch ein normales Stausegment.

Ein Objekt gelangt durch den Transporteingang in den Baustein und legt zunächst den entsprechenden Förderweg zurück. Der Transporteingang wird anschließend freigegeben. Sollte eine Montage erforderlich sein, so werden die zu montierenden Objekte nacheinander aus den Montageeingängen abgezogen, wobei der entsprechende Eingangsknoten sofort freigegeben wird. Der genaue Montagevorgang mit seinen Montagealternativen ist auf der Strategieebene beschrieben.

Außerdem können Montagen auch manuell ausgeführt werden. Dazu wird vor Beginn der Montage ein Werker angefordert, auf den das Montageelement wartet. Der exakte Ablauf dieses Vorgangs ist in der Beschreibung der Arbeitsbereichsebene erläutert.

War keine Montage notwendig oder ist die Montage beendet, so wird das Objekt in den aufnahmebereiten Nachfolgerbaustein abgegeben. Das nächste Objekt darf dann bereits hinter dem herausfahrenden Objekt einfahren. Eine Montage kann jedoch erst beginnen, wenn das alte Objekt vollständig ausgefahren ist, so daß der Ausgangsknoten wieder freigegeben ist.

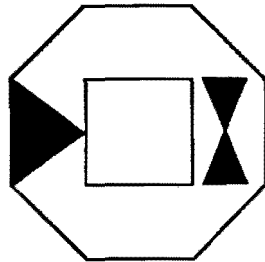


Bild 2.14: Das Symbol eines Montageelements

### 2.1.18. Das Demontageelement

Der komplementäre Bausteintyp zum Montageelement ist das "DEMONTAGEELEMENT". Es dient zur Zerlegung von Objekten in mehrere Transporteinheiten, wie es zum Beispiel bei der Lastabgabe einer EHB oder bei einer Depaletierung erfolgt.

Das Demontageelement besitzt eine variable Anzahl von Ausgängen, jedoch mindestens zwei, wobei der erste Ausgang den Transportausgang bezeichnet. Die übrigen Ausgänge heißen Demontageausgänge. Außerdem gibt es nur einen Eingang, durch den das Objekt in den Baustein einfährt.

Der Verbindungsknoten am Eingang wird freigegeben, wenn das Objekt vollständig auf den Demontageplatz gefahren ist. Danach beginnt die Demontage, die durch eine Demontageliste gegeben ist. Dabei werden Objekte erzeugt, wobei jedes durch einen der Demontageausgänge den Baustein verläßt. Durch jeden Ausgang kann nur ein Objekt austreten. Der Austritt der Objekte erfolgt, wenn die Demontage vollständig beendet ist, also nach Ablauf der Demontagezeit.

Analog zum Montageelement wird die Demontagestrategie auf der Strategieebene beschrieben. Der Einsatz von Werkern zur Demontage erfolgt ebenfalls völlig analog, wobei der genaue Ablauf auf der Arbeitsbereichsebene nachzulesen ist. Eine Demontage wird nur für die Objekttypen vorgenommen, die in einer Liste definiert sind. Für die übrigen Objekttypen wirkt der Baustein wie ein Stauplatz, d.h. sie verlassen den Baustein (falls möglich) sofort nach der Einfahrt.

Die Grundobjekte, deren Typ sich nach der Demontage geändert hat, können das Demontageelement erst verlassen, wenn alle neu erzeugten Objekte den Baustein vollständig verlassen haben. Während der Ausfahrt kann das nächste Objekt bereits in den Baustein einfahren, jedoch erfolgt eine Demontage erst, wenn das vorige Objekt den Baustein vollständig verlassen hat.

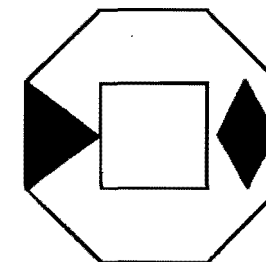


Bild 2.15: Das Symbol eines Demontageelements

### 2.1.19. Der Palettierer

Die Bausteine vom Typ "PALETTIERER" dienen zur Modellierung eines speziellen Palettiervorgangs, der eigentlich besser mit dem Begriff "UMPALETTIERER" erfaßt ist. Die Objekte werden im Baustein von einer Palette auf eine andere Palette umgesetzt.

Die Palettierer besitzen je zwei Ein- und Ausgänge, wobei der Eingang 1 und der Ausgang 1 jeweils für die Objekte, die beiden anderen Anschlüsse für die Paletten verwendet werden.

Ein Objekt fährt in den Baustein ein, wobei es den zugehörigen Transportweg mit der Objektgeschwindigkeit zurücklegt. Danach wird der Knoten am Objekteingang freigegeben. Anschließend fährt die neue Palette ein, die ihre Transportstrecke mit der Palettengeschwindigkeit zurücklegt. Dann wird der Verbindungsknoten am Paletteneingang freigegeben, so daß die (Um-) Palettierung beginnen kann. Die Dauer der Palettierung ist durch eine auf der Strategieebene beschriebenen Verteilungsfunktion festgelegt.

Nach Abschluß der Palettierungsarbeit fährt zunächst die alte Palette aus dem Baustein heraus. Diese muß den Baustein vollständig verlassen haben, bevor das Objekt, das sich nun auf der neuen Palette befindet, den Baustein verlassen kann.

Mit Hilfe von Modellkonstruktionen können auch andere Palettiervorgänge abgebildet werden. Das Aufsetzen auf eine neue Palette würde beispielsweise mit einer Senke für die ausfahrende alte Palette modelliert. Die Palettierung mehrerer Objekte auf eine Palette kann mit einem vorgeschalteten Montageelement nachgebildet werden.

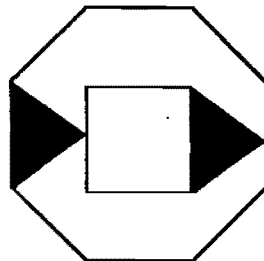


Bild 2.16: Das Palettiersymbol

### 2.1.20. Die Bausteinverbindungen

Ein SIMIS3-Modell wird aus Bausteinen der oben beschriebenen Typen zusammengesetzt. Dabei müssen die Ausgänge der Bausteine mit den Eingängen der Nachfolger verknüpft werden. Dazu werden sogenannte Verbindungsknoten (auch kurz: Knoten) verwendet, die den Übergang zwischen zwei Bausteinen eindeutig markieren.

Die wesentliche Bedeutung der Knoten ist darin zu sehen, daß sie mit ihrem Zustand Informationen über die angrenzenden Bausteine weitergeben. Sie haben also eine ähnliche Funktion wie Melder im realen System, mit denen Informationen über den Zustand des Restsystems abgefragt werden. Die Bausteine können auf diese Weise auf Zustände reagieren oder bei Zustandsänderungen Reaktionen der angrenzenden Bausteine auslösen.

Auf dieser Ebene der Beschreibung werden nur drei Zustände unterschieden, nämlich "BELEGT", "WARTET" und "FREI".

Der Zustand BELEGT zeigt dem Vorgängerbaustein an, daß ein Objekt noch nicht vollständig in den Nachfolgerbaustein eingefahren ist. Dementsprechend ist der vorderste Platz noch nicht frei, so daß das erste Objekt im Baustein nicht bis zum Ausgang vorfahren kann.

Der Zustand WARTET bedeutet, daß ein Objekt am Ausgang des Vorgängerbausteins darauf wartet, in den Nachfolgerbaustein einzufahren. Diese Information kann der Nachfolgerbaustein beispielsweise für Vorfahrtsstrategien verwenden.

Der Zustand FREI bedeutet schließlich nur noch, daß keiner der beiden anderen Zustände vorliegt, so daß also kein Objekt am zugehörigen Ausgang wartet, und das letzte Objekt im Nachfolgerbaustein vollständig eingefahren ist.

Für die Programmiererebene besitzen die Knoten außerdem den Zustand "GESPERRT". Dieser Zustand dient dem Systemanalytiker, der eigene Strategien programmiert, zur expliziten Sperrung von Knoten, die in diesem Zustand von keinem Objekt passiert werden können. Dieser Mechanismus soll jedoch auf der Programmiererebene detaillierter beschrieben werden.

### 2.1.21. Restriktionen bei der Modellierung

Die spezielle Funktionsweise einiger Bausteintypen macht es erforderlich, die Verknüpfungen von Bausteinen einzuschränken. Diese notwendigen Restriktionen werden im allgemeinen durch das Checkmodul, mit dessen Hilfe ein System auf die logische Konsistenz überprüft wird, abgefangen.

Zur Vermeidung von Systemstillständen (Deadlocks) dürfen die Montageeingänge eines Montageelements nicht mit den Ausgängen eines Verteilwagens, eines Drehtisches mit 2 Ein- und 2 Ausgängen bzw. eines Komplex-Knotens, in dem kein Objekt anhalten darf, verbunden werden. Alle diese Bausteintypen fragen vor der Einfahrt eines Objekts ab, ob der Weg in den Nachfolgerbaustein frei ist, was jedoch bei einem Montageeingang immer verneint wird.

Eine Verbindung von 2 Demontageausgängen eines Demontageelements mit 2 Montageeingängen eines Montageelements würde ebenfalls einen Deadlock in diesem Systembereich bewirken. Jedoch kann diese Kombination unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll funktionieren und wird daher nicht durch die Konsistenzprüfung abgefangen.

Weitere Problembausteine sind der Förderkreis und der Doppelverschiebewagen, die ebenfalls nicht mit den Montageeingängen eines Montageelements verbunden sein dürfen. Darüberhinaus sind die Verbindungen mit weiteren Förderkreisen oder Doppelverschiebewagen untersagt. Anschlüsse an Verteilwagen, Drehtische oder Komplex-Knoten sind auch

mit einer Deadlockgefahr verbunden, jedoch werden diese Kombinationen nicht generell ausgeschlossen.

Für die restlichen Kombinationen von Bausteintypen gelten keine weiteren Restriktionen.

Die folgende Tabelle verdeutlicht die oben genannten Restriktionen:

	untersagt	gefährdet
Montageelement	Drehtisch (je 2 Ein- und Ausgänge) Verteilwagen Komplex-Knoten (Objekte dürfen nicht anhalten) Förderkreis Doppelverschiebewagen	Demontageelement
Doppelverschiebewagen Förderkreis	Doppelverschiebewagen Förderkreis Montageelement	Drehtisch Verteilwagen Komplex-Knoten

## 2.2. Die Strategieebene

Die Strategieebene umfaßt zunächst die Vorfahrts- und Verteilregeln, mit denen Konfliktsituationen in Bausteinen mit mehr als einem Ein- bzw. Ausgang gelöst werden. So klären sich die Fragen nach dem nächsten Objekt, das in einen Baustein einfährt, bzw. nach dem Ausgang für ein Objekt. Bei den Doppelverschiebewagen ist zur Auflösung dieser Konflikte eine zusätzliche Steuerung notwendig.

Mit der Freiplatzsteuerung können die Objektabstände beim Übergang von Baustein zu Baustein geregelt werden, so daß beispielsweise Blockstrecken abbildbar sind.

Die Verteilungsfunktionen dienen zur Beschreibung von Zufallsprozessen bei der Ermittlung von Zeitintervallen. Diese Zeitintervalle werden zum Beispiel bei Zwischenankunfts-, Bearbeitungs- oder Montagezeiten benötigt.

Bei der Modellierung von Bausteinpulks bestehend aus Verteilwagen, Drehtischen und Komplex-Knoten sind Restriktionen hinsichtlich der Verwendung von Vorfahrts- und Verteilregeln zu beachten.

Bei den Montagen, Demontagen und anderen Objektbearbeitungen können Objekte nach festen Strategien zusammengefügt, zerlegt und verändert werden. Diese Strategien umfassen neben den bereits erwähnten Verteilungsfunktionen für den Zeitverbrauch Regeln für den Objekttypwechsel.

In den Quellen werden die Objekte gemäß einer Generierungsstrategie erzeugt, die die Zwischenankunftsintervalle und den Objekttyp der einzelnen Objekte festlegt.

### 2.2.1. Die Vorfahrtsregeln

Der Modellierer kann zwischen diversen Vorfahrtsstrategien auswählen, wobei 5 Strategien bei allen Bausteintypen mit mehr als einem Eingang (Ausnahme: Montageelement) ausgewählt werden können:

- FIFO
- Priorität der Eingänge
- Priorität von Objekttypen
- Maximale absolute Belegung der Vorgängerbausteine
- Maximale relative Belegung der Vorgängerbausteine

Die Vorfahrtsstrategie wird benötigt, wenn an mehr als einem Eingang Objekte warten. Dabei werden nur die Eingänge berücksichtigt, deren Anschlußbausteine nicht gestört oder mit einer Pause belegt sind. Außerdem darf der Verbindungsknoten des entsprechenden Eingangs nicht gesperrt sein. Die genannten Strategien verfahren wie folgt:

1. Die FIFO-Strategie überprüft die Wartezeiten der an den Eingängen wartenden Objekte. Das Objekt mit der größten Wartezeit darf als nächstes in den Baustein einfahren. (Statt FIFO = First-In-First-Out sollte man besser sagen FCFS = First-Come-First-Served)
2. Die Eingänge werden bei der zweiten Vorfahrtsstrategie mit festen und eindeutigen Prioritäten versehen. In den Baustein fährt das Objekt ein, das am Eingang mit der höchsten Priorität wartet.
3. Bei der Strategie 'Priorität der Objekttypen' muß jedem Objekttyp, der den Baustein

passieren kann, eine feste und eindeutige Prioritätskennziffer zugeordnet werden. Es wird das wartende Objekt ausgewählt, das den Typ mit der höchsten Priorität besitzt.

4. Die Strategie 'Maximale absolute Belegung der Vorgängerbausteine' wählt das Objekt an dem Eingang aus, dessen aktuelle Istbelegung des Vorgängerbausteins am größten ist. Die Kapazität dieser Bausteine spielt dabei keine Rolle.
5. Analog zur 4. Strategie wird bei 'Maximaler relativer Belegung der Vorgängerbausteine' verfahren. Jedoch wird hier mit der Bausteinkapazität und der aktuellen Istbelegung die prozentuale Belegung des Vorgängerbausteins bestimmt. Das Objekt, das am Ausgang des Bausteins mit der größten prozentualen Belegung wartet, darf dann als nächstes in den Baustein einfahren.

Außer den genannten Vorfahrtsstrategien gibt es noch weitere, bausteinspezifische Regeln:

1. Bei Einschleusern wird die Strategie 'Priorität der Durchförderstrecke' angeboten. Bei dieser Strategie wird ein Objekt nur in die Hauptförderrichtung eingeschleust, wenn es kein Objekt auf der Durchförderstrecke behindert. Es wird daher abgeprüft, ob sich während der Dauer der Einschleusung ein Objekt aus dem Vorgängerbaustein der Hauptförderrichtung am Eingang des Einschleusers anmeldet. Falls ja, wird die Einschleusung verschoben, ansonsten kann der Einschleusvorgang stattfinden.
2. Bei Drehtischen existiert eine zusätzliche Vorfahrtsstrategie, die die Stellung des Drehtisches berücksichtigt. Dabei wird das Objekt von dem Eingang bevorzugt, zu dem der Drehtisch die günstigste Stellung besitzt, das heißt, bei dem die erforderliche Drehung des Tisches die wenigste Zeit in Anspruch nimmt.
3. Eine ähnliche Vorfahrtsstrategie existiert auch für Verteil- und Doppelschiebewagen, bei denen die aktuelle Wagenposition berücksichtigt wird. Es wird das Objekt als nächstes transportiert, zu dem der Wagen den kürzesten Fahrweg zurücklegen muß.

Erfüllen zwei Objekte mit ihren Eingängen die gleichen Voraussetzungen für die Vorfahrtsregel, wird derjenige Eingang festgelegt, der die kleinere Eingangsnummer besitzt. Über diese Standardstrategien hinaus besitzt der Benutzer die Möglichkeit, eigene Vorfahrtsstrategien zu definieren. Diese müssen als PASCAL-Quellcode an das Programm gebunden werden, was auf der Programmierenebene beschrieben ist.

### 2.2.2. Die Verteilregeln

Bei den Verteilregeln kann der Modellierer auf folgende Standardstrategien zurückgreifen, die für alle Bausteine mit mehr als einem Ausgang (Ausnahme: Demontageelement) verfügbar sind:

- Zielgerichtete Verteilung
- Prozentuale Verteilung
- Alternierende Verteilung
- Priorität der Ausgänge
- Minimale Belegung der Nachfolgerbausteine
- Maximaler Freiraum in den Nachfolgerbausteinen

Die Verteilregeln werden benötigt, um für ein Objekt den Ausgang zu bestimmen, durch den es den Baustein verlassen soll. Dabei wird in allen Bausteinen angenommen, daß ein

Objekt von jedem Eingang zu allen Ausgängen gelangen kann. Lediglich beim Komplex-Knoten ist die Menge der möglichen Verbindungen eingeschränkt, da der Modellierer hier jeden Pfad definieren muß.

Außerdem kann der Benutzer angeben, ob die Ausgänge, deren Verbindungsknoten gesperrt bzw. deren Nachfolgerbausteine durch eine Störung oder Pause nicht verfügbar sind, bei der Verteilstrategie berücksichtigt werden sollen. Falls nicht, so wird je nach der aktuellen Situation die zulässige Ausgangsmenge weiter eingeschränkt, andernfalls erfolgt keine weitere Einschränkung.

Die gesamten Standardstrategien haben dann folgende Wirkung:

1. Mit der 'zielgerichteten Verteilung' kann die Menge der zu berücksichtigten Ausgänge weiter eingeschränkt werden. Für jeden Ausgang werden die Objekttypen definiert, die den Ausgang passieren dürfen. Für ein Objekt ist die Anzahl der möglichen Ausgänge aufgrund seines Typs oder der aktuellen Situation gegeben. Jedoch ist es möglich, daß trotz der Einschränkungen mehr als ein Ausgang möglich ist, so daß eine weitere Verteilregel angewendet werden muß. Die zielgerichtete Verteilung wird also nur durch eine Zweitstrategie eindeutig, für die alle Regeln in Frage kommen, außer der zielgerichteten Verteilung selbst.

Gelangt ein Objekt, dessen Typ für keinen Ausgang definiert ist, in den Baustein mit zielgerichteter Verteilung, so wird eine Fehlermeldung abgegeben. Das Objekt verläßt den Baustein in diesem Fall durch den Ausgang mit der Nummer 1.

2. Die 'prozentuale Verteilung' bewirkt, daß der Ausgang für ein Objekt mit einer Zufallszahl ermittelt wird. Für jeden Ausgang sind prozentuale Angaben definiert, die in der Summe 100% ergeben. Ist die Ausgangsmenge eingeschränkt, so werden nur die Angaben der zulässigen Ausgänge berücksichtigt und aufsummiert. Die Zufallszahl ist gleich verteilt zwischen 0 und der ermittelten Summe.
3. Bei der 'alternierenden Verteilung' wird für jeden Ausgang eine Losgröße definiert, die die Anzahl der Objekte festlegt, die den zugehörigen Ausgang nacheinander passieren sollen. Ist ein Los vervollständigt, wird der nächste Ausgang gemäß der Numerierung gewählt. Wurden die Lose von allen Ausgängen abgearbeitet, wiederholt sich der Vorgang, wobei wieder mit der Ausgangsnummer 1 begonnen wird. Ist die alternierende Verteilung die Zweitstrategie einer zielgerichteten Verteilung, so werden die Lose objekttypabhängig definiert.

Ist die Ausgangsmenge aufgrund von zu beachtenden Sperrungen, Störungen oder Pausen eingeschränkt, und fehlt der Ausgang, dessen Los im aktuellen Zustand vervollständigt werden müßte, wird dieser Vorgang abgebrochen. Die Verteilung wird an dem Ausgang fortgesetzt, der gemäß Liste und Verfügbarkeit auf den aktuellen Ausgang folgt.

4. Die Verteilung der Objekte gemäß einer Prioritätstafel für die Ausgänge erfolgt in Abhängigkeit von den Zuständen der Nachfolgerbausteine. Es wird derjenige Ausgang gewählt, dessen Nachfolger bei minimaler Prioritätskennziffer noch Plätze zur Verfügung hat.
5. Wenn die Objekte aufgrund der 'minimalen Belegung der Nachfolgerbausteine' verteilt werden, wird derjenige Ausgang gewählt, dessen Nachfolger die geringste prozentuale Belegung besitzt.

6. Bei einer Verteilung in den 'maximalen Freiraum der Nachfolgerbausteine' wird das Objekt durch den Ausgang transportiert, dessen Nachfolgerbaustein die meisten freien Plätze besitzt. Diese ergeben sich aus der Differenz von Kapazität und aktueller Istbelegung. Die Anordnung der Objekte (z.B. in einer Förderstrecke) ist ohne Bedeutung.

Über die Standardstrategien hinaus kann für Verteil- und Doppelschiebewagen eine weitere Verteilregel ausgewählt werden. Dabei wird die aktuelle Stellung des Wagens berücksichtigt, so daß derjenige Ausgang ausgewählt wird, für den die kürzeste Fahrstrecke zurückgelegt werden muß. Bei gleicher Voraussetzung von 2 Ausgängen bestimmt jede Verteilregel den Ausgang mit der kleineren Ausgangsnummer zum Ziel für das Objekt.

Analog zu den Vorfahrtsstrategien kann der Benutzer auch eigene Verteilregeln definieren. Diese sind ebenfalls als PASCAL-Quellcode an das Programm zu binden, wie auf der Programmiererebene beschrieben ist.

### 2.2.3. Die Freiplatzsteuerung

Für einige Bausteintypen, nämlich für die Stautrecken, Pulkstrecken, Einschleuser, Ausschleuser, Arbeitsstationen, Verteil-, Zusammenführungs-, Montage- und Demontageelemente, Palettierer und Komplex-Knoten, gibt es eine Förderstrategie, die als Freiplatzsteuerung bezeichnet wird.

Bei der Beschreibung dieser Förderstrategie sind zwei Fälle zu unterscheiden, nämlich die Bausteine mit einer möglichen Kapazität  $> 1$  und die Bausteine mit Kapazität  $= 1$ .

Bei einem Baustein mit der Aufnahmekapazität von einem Objekt bedeutet die Freiplatzsteuerung, daß sich ein Objekt vollständig aus dem Baustein entfernt haben muß, bevor ein neues Objekt am Eingang (an einem der Eingänge) einfahren darf. Das heißt, daß der Ausgangsknoten des Bausteins vor der nächsten Einfahrt frei gemeldet sein muß.

Bei Stau- und Pulkstrecken mit mehr als einem Stellplatz besitzt die Freiplatzsteuerung nur eine Wirkung auf den letzten Stauplatz. Ein Objekt kann nämlich erst in den Baustein einfahren, wenn der letzte Stauplatz vollständig frei ist, das heißt, daß das letzte Objekt in der Strecke mindestens bis auf den vorletzten Stauplatz vorgefahren ist.

Der Einsatzbereich für die Freiplatzsteuerung ist vielfältig. Bei den Verzweigungs- bzw. den Zusammenführungsbausteinen wird durch die Freiplatzsteuerung erreicht, daß sich Objekte innerhalb des kritischen Weichenbereichs nicht behindern.

Für die Simulation von EHB- und FTS- Anlagen ist eine Blockstreckensteuerung abzubilden. Dies ist mit der Freiplatzsteuerung möglich, allerdings ist eine geeignete Wahl der Stautreckenkapazität erforderlich, um eine vollständige Blockstreckensteuerung zu erhalten. In nicht auffahrgesteuerten Bereichen dürfen die Stautrecken nur die Kapazität 1 besitzen.

### 2.2.4. Die Verteilungsfunktionen

Die Simulation spielt die zeitliche Abfolge von Ereignissen auf dem Rechner nach. In der Realität gibt es aber nur sehr wenige Prozesse, bei denen die Vorhersage der Ereigniszeitpunkte exakt durchgeführt werden kann. Die zeitliche Verteilung dieser Ereignisse hängt von Zufällen ab, die allerdings in vielen Fällen durch statistische Verteilungsfunktionen zu erfassen sind.

Beispielsweise sind zufällige Ankunftsprozesse in der Regel Poissonströme, die eine Exponentialverteilung für die Zwischenankunftszeit implizieren. Die Bearbeitungszeiten an Werkstücken durch Arbeiter lassen sich durch Normalverteilungen annähern. Als letztes Beispiel sei noch erwähnt, daß das Leistungsverhalten von Regalförderzeugen (RFZ) oft einer Erlangverteilung genügt.

Das Programmsystem stellt für die Abbildung von Bearbeitungs-, Montage-, Demontage-, Palettier- und Zwischenankunftszeiten 5 Verteilungsfunktionen zur Verfügung:

- getaktete Verteilung
- Gleichverteilung
- Exponentialverteilung
- Normalverteilung
- Erlangverteilung

Bei der getakteten Verteilung ist die zu ermittelnde Zeit fest vorgegeben. Diese Verteilung ist also kein Zufallsprozeß.

Bei der Gleichverteilung berechnet sich die Zeit aus einem vorgegebenen Zeitintervall, wobei jeder Wert in dem Intervall die gleiche Häufigkeit besitzt. Das Bild 2.17 verdeutlicht dies an dem Zeitintervall  $[a, b]$ , wobei die Dichtefunktion für alle  $t^*$  aus  $[a, b]$  den Wert  $1/(b-a)$  besitzt und außerhalb von  $[a, b]$  identisch verschwindet.

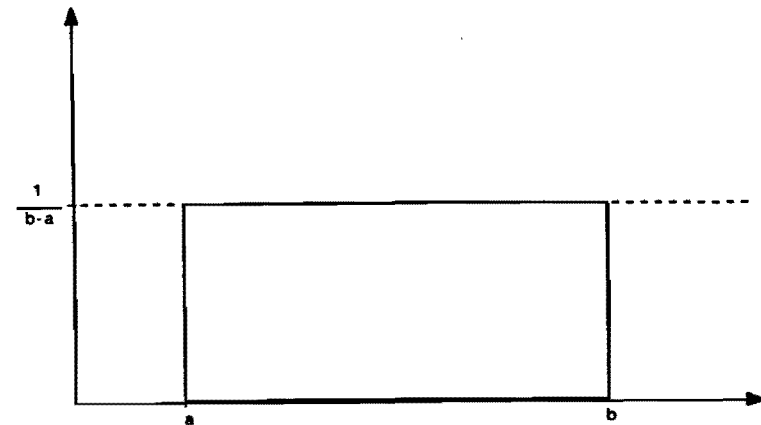


Bild 2.17: Die Dichte der Gleichverteilung

Die Exponentialverteilung ist durch eine Rate  $\lambda$  eindeutig festgelegt. Die Zeiten, die aufgrund der Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung  $1 - e^{-\lambda t}$  ermittelt werden, sind gemäß der im Bild 2.18 dargestellten Dichtefunktion  $\lambda e^{-\lambda t}$  verteilt. Der Erwartungswert der Verteilung beträgt  $1/\lambda$ .

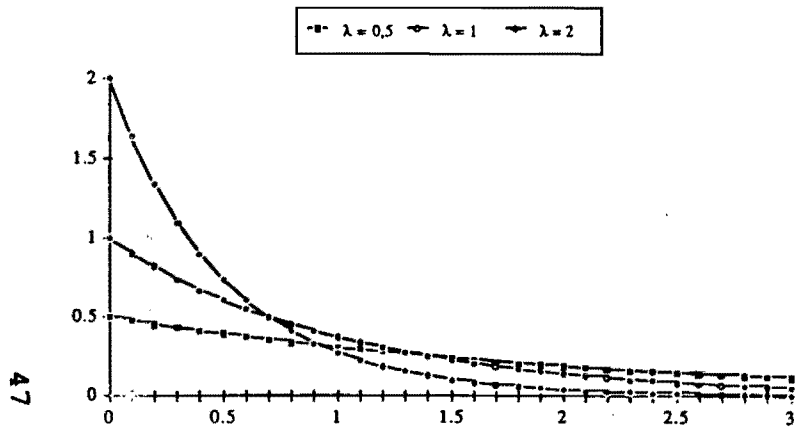


Bild 2.18: Die Dichte der Exponentialverteilung

Eine der wichtigsten Verteilungsfunktionen für die Simulation ist die Normalverteilung. Trägt man beispielsweise die exakten Bearbeitungszeiten an einem Werkstück mit ihrer Häufigkeit auf, so ergibt sich oft eine Glockenkurve, die charakteristisch ist für eine Normalverteilung. Eine Normalverteilung mit dem Erwartungswert  $\lambda$  und der Varianz  $\sigma^2$  besitzt die Dichtefunktion

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-0,5\sigma^2 (t-\lambda)^2}$$

die im Bild 2.19 dargestellt ist.

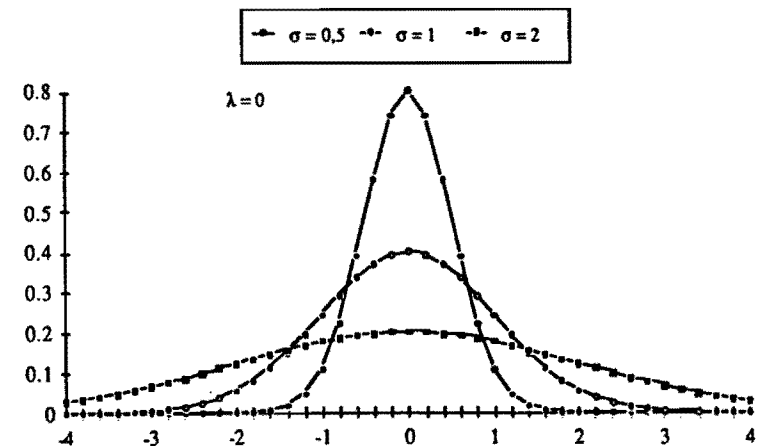


Bild 2.19: Die Dichte der Normalverteilung



Bei der Simulation von Lagervorزونen ist es erforderlich, das Quellen- und Senkenverhalten von und zum Lager, das mit RFZ ver- und entsorgt wird, mit einer Erlangverteilung abzubilden. Anschaulich gesprochen ist eine Erlangverteilung mit  $k$  Phasen die Reihenschaltung von  $k$  identischen Exponentialverteilungen. Dies drückt sich in der Dichtefunktion einer  $k$ -Erlangverteilung mit Erwartungswert  $k/\lambda$  aus. Sie genügt der Formel:

$$\lambda \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t}$$

und ist in Bild 2.20 dargestellt. (Bemerkung:  $k$  und  $\lambda$  sind Parameter der Erlangverteilung, die den Erwartungswert  $k/\lambda$  und die Varianz  $k/\lambda^2$  besitzt).

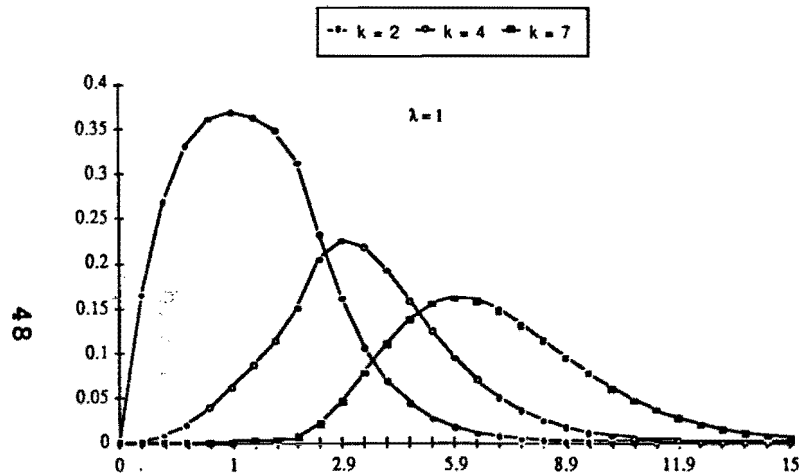


Bild 2.20 : Die Dichte der Erlangverteilung

## Bijlage 5. Ordergenerering

bron	takttijd		produkt									
	gem.	var.	900	100	200	300	400	500	600	700	800	
9	180	30	20	5	10	-	-	-	-	-	-	
1	240	40	20	5	20	10	-	-	-	-	-	
2	360	60	20	5	40	20	10	-	-	-	-	
3	60	10	20	5	15	50	15	10	-	-	-	
4	120	20	10	5	10	20	40	20	10	-	-	
5	40	8	-	5	-	15	15	40	20	10	-	
6	60	10	-	5	-	-	10	20	20	20	10	
7	60	10	-	5	-	-	-	10	25	35	20	
8	120	20	-	5	-	-	-	-	20	20	40	

Tabel 9: Taktijden en verhoudingsgetallen per bron.

In tabel 9 is weergegeven welke produkten in welke bron ("Quelle") worden gegenereerd. Duidelijk zichtbaar is dat de verdeling van de produkten is gegroepeerd rond de stations waar deze produkten verwerkt moeten worden. Zo wordt bijvoorbeeld produkt 300 het meest gegenereerd in bron 3. Produkt 100 wordt vanzelfsprekend in alle bronnen even vaak gegenereerd. Alle cassettes moeten immers op zijn tijd gevuld worden.

produkt	gewenst (a)	model (b)	werkelijk (c)	b-a	c-b	c-a
900	8.7	8.9	9.9	0.2	1.0	1.2
100	5.8	5.6	1.2	-0.2	-4.4	-4.6
200	7.2	7.3	7.5	0.1	0.2	0.3
300	17.4	13.6	18.9	-3.8	5.3	1.5
400	10.9	10.3	7.6	-0.6	-2.7	-3.3
500	17.4	17.3	12.0	-0.1	-5.3	-5.4
600	14.5	14.9	19.2	0.4	4.3	4.7
700	10.9	13.5	13.8	2.6	0.3	2.9
800	7.2	8.8	9.8	1.6	1.0	2.6

Tabel 10: Percentages produkten zoals ze in het model enkelkraan verwerkt worden.

In tabel 10 is uitgegaan van de gewenste orderverdeling zoals beschreven in tabel 5. Met de hierboven beschreven verhoudingsgetallen en taktijden ziet de verdeling er in het model uit als in kolom (b). Vervolgens is bij enkele simulaties met behulp van model enkelkraan genoteerd in welke verhouding de verschillende produkten verwerkt zijn. De resultaten hiervan vormen kolom (c). Tot slot zijn in deze tabel de verschillen weergegeven tussen de drie verdelingen.

## Bijlage 6: Modelling in detail

Enige aspecten van de modellering verdienen wat extra aandacht. Dit zijn aspecten die voor het begrijpen van de modellen niet noodzakelijk zijn, maar voor het op de juiste manier uitvoeren van de simulaties weldegelijk van belang zijn.

### a) De "Senke's"

In de modellen is vóór iedere "Senke" een transportband of Stau-Strecke (SST) geplaatst. Dit is gedaan om het losgedrag van de MBA te modelleren. Bij het wegzetten van een produkt naar een transportband blijft op deze manier de MBA de volle overzettijd wachten, dit in tegenstelling tot de directe koppeling van MBA en "Senke" waarbij deze overzettijd niet te modelleren is. .

### b) Prioriteitsstelling

Door het modelleren van de ordergenerering, zoals beschreven in paragraaf 4.1, kan het gebeuren dat er produkten gegenereerd worden die op dat moment niet verwerkt kunnen worden. Er kunnen ook stations leeg staan waarvoor geen order gegenereerd is. Men kan dan niet zoals in de werkelijke situatie extra orders inlezen in een buffer die bij een leeg station hoort. Tevens is het geven van prioriteiten aan een bepaalde stations en zelfs aan bepaalde opdrachten beperkt tot het algemeen prioriteit geven door middel van een opnamestrategie. Het is niet mogelijk om voor 5 minuten station 1 prioriteit te geven. Dit kan slechts voor de duur van de hele simulatie.

### c) Het wegzetten van de cassettes

In de modellen worden de gereede produkten niet teruggezet waar ze vandaan komen. De reden hiervoor is dat de MBA een produkt, bijvoorbeeld 501, niet als een gereed produkt 500 ziet, maar als een nieuw aangeboden produkt. Er is daarom gekozen voor een modellering die een gereed produkt wegzet bij één van de "Senke's" die het dichtst bij het station liggen. Een keuze uit de verschillende "Senke's" wordt gemaakt met behulp van een tweede verdeelstrategie; in deze modellen is gekozen voor de strategie "minimalisering van de weglengte".

#### d) Dubbelstations

Ieder produkt dat in één van de dubbelstations binnenkomt wordt allereerst gedemonteerd. Er blijven over een informatie-element en een produkt dat weliswaar een andere naam heeft gekregen, maar dat nog steeds hetzelfde moet voorstellen. Het informatie-element blijft in het demontage-element en blokkeert hier de ingang voor nieuwe produkten. Het aangepaste produkt gaat verder naar het bewerkingsstation. Nadat dit produkt bewerkt is, gaat het naar een montage-element. Hier wordt het informatie-element weer gemonteerd en kan het produkt worden afgevoerd.

Door nu de transportband met een gedemonteerd produkt te initialiseren, is het model compleet. Dit produkt blijft na bewerking wachten op montage. Er zal dus altijd eerst een nieuw produkt gedemonteerd moeten worden, voordat dit eerste produkt afgevoerd kan worden. Op deze wijze blijft er minimaal één produkt in het station en maximaal drie: één gemonteerd en nog niet afgevoerd, één in bewerking en één gedemonteerd en wachtend op de transportband om bewerkt te worden.

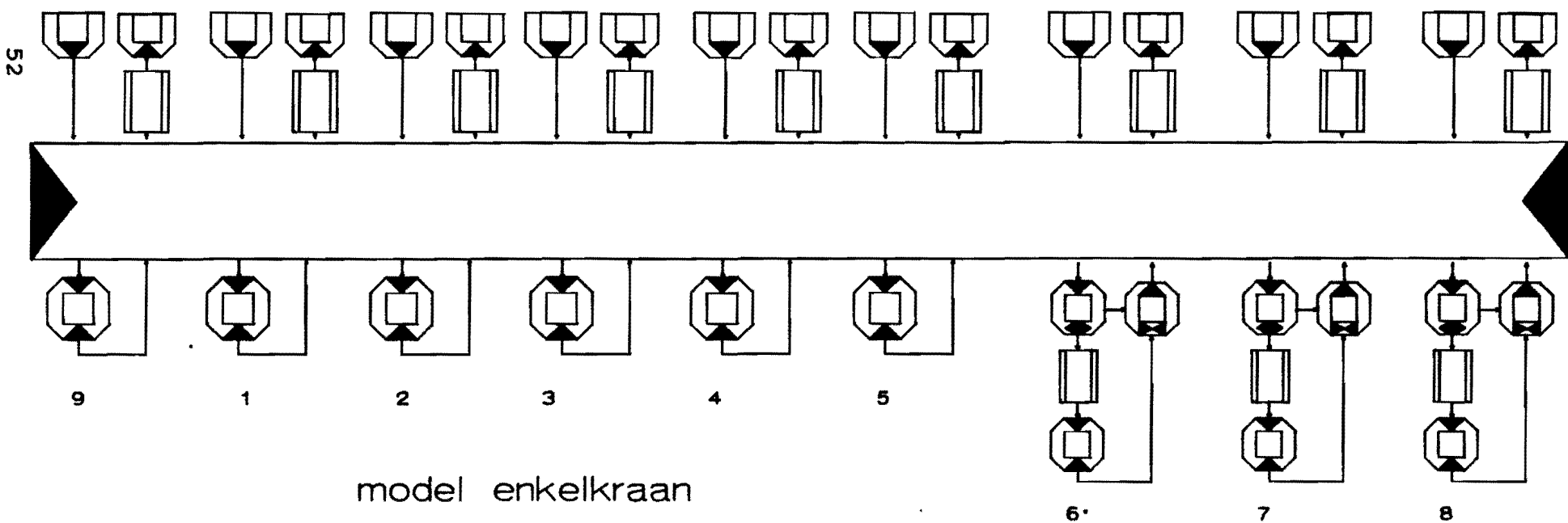
#### e) Laad- en lostijden

Er dient vermeld te worden dat, omdat er geen koppeling mogelijk is tussen in- en uitgang van een dubbelstation, alle laad- en lostijden in de modellen 40 seconden worden genomen. Er is geen verschil in de modellen tussen laden vanuit een station of vanuit een stelling en er is geen verschil tussen laden en lossen vanuit een enkel- of een dubbelstation.

#### f) Rijtijden dubbelkraan

In het model dubbelkraan zij tussen de MBA's en alle andere bouwstenen KKN gezet. Er is nu geen directe verbinding meer tussen de MBA en het bewerkingsstation. Het inrijden van een cassette zal dus of bij de MBA-KKN koppeling of bij de KKN-bewerkingsstation koppeling gemodelleerd moeten worden. In dit model is gekozen voor de eerste oplossing. Het rijgedrag van de MBA blijft dan correct. Echter bij de bewerkingsstations treffen we geen rijtijden meer aan en is de wachttijd iets groter geworden.

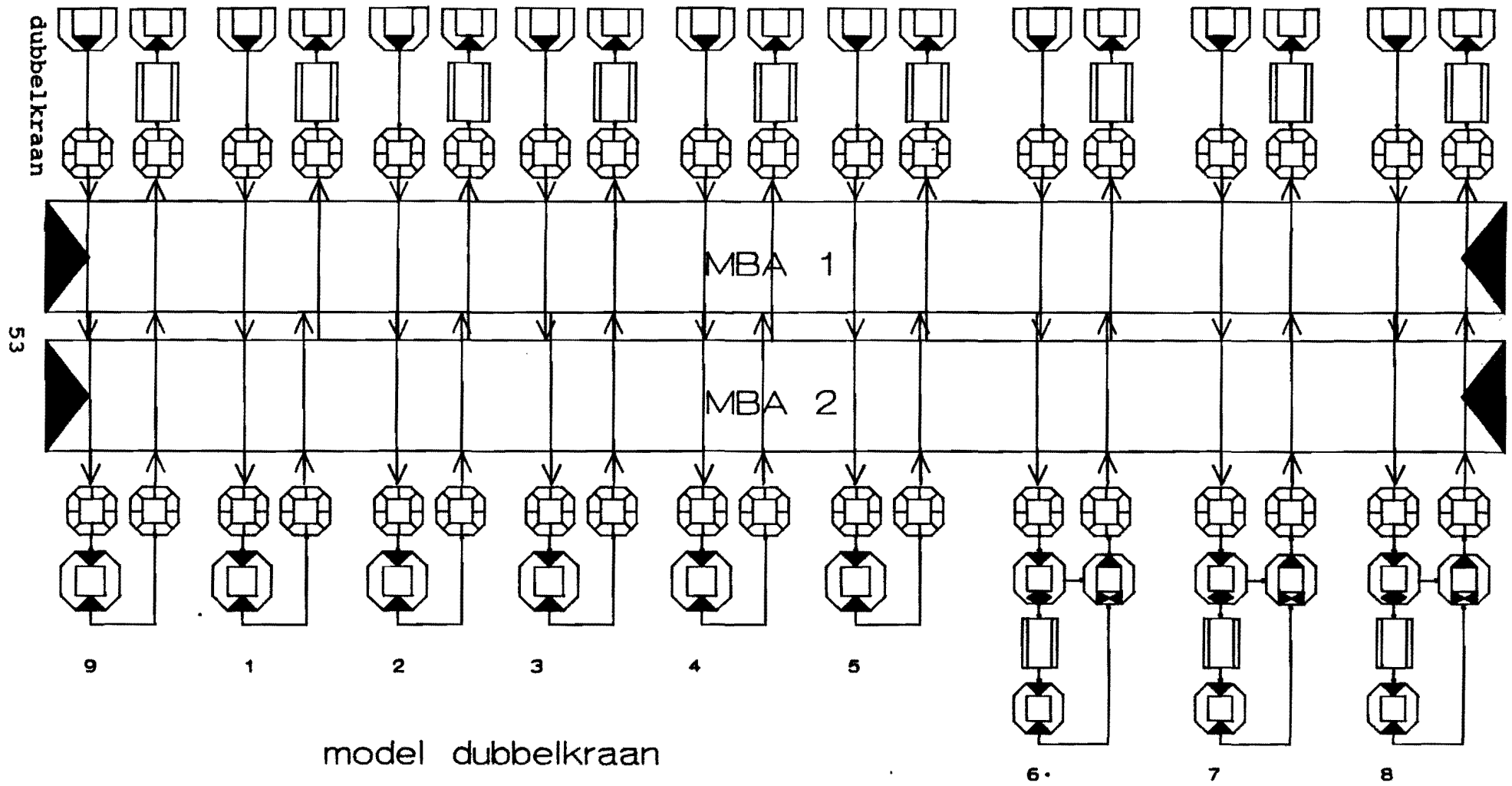
Figuur 6: Model enkelkraan



52

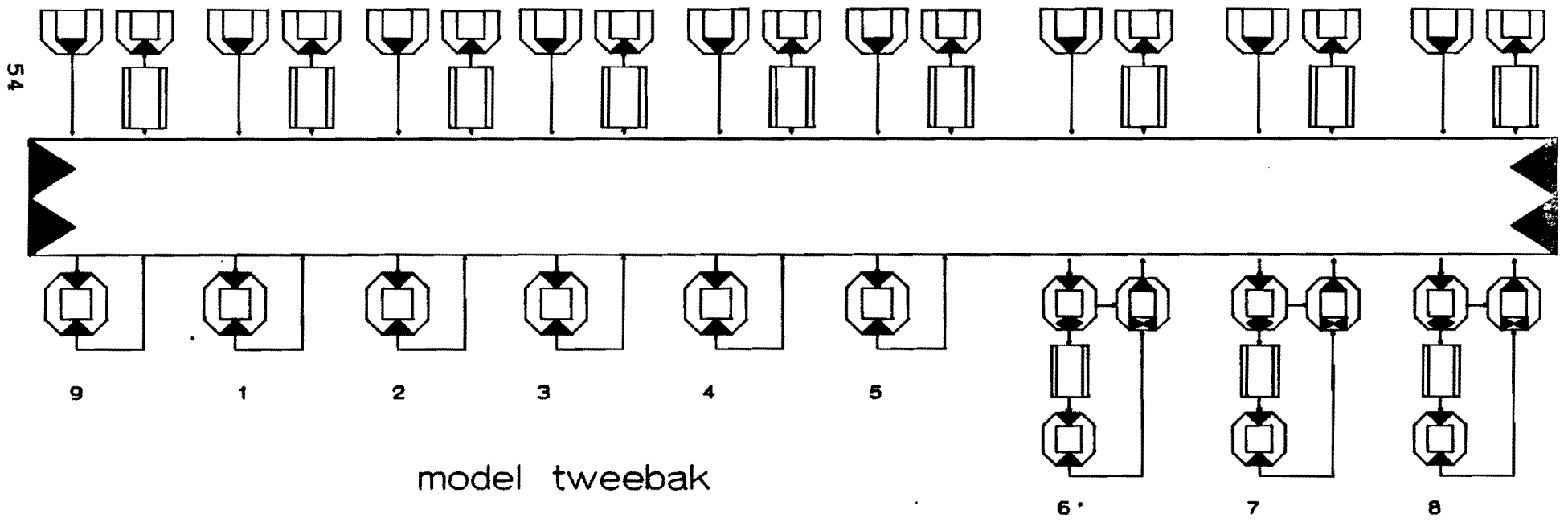
model enkelkraan

Figuur 7: Model dubbelkraan



model dubbelkraan

Figuur 8 : Model tweebak



## Bijlage 8. Resultaten

### Inhoud

Tabel 11: Soorten opnamestrategieën.

Figuur 9: Kengetallen van het stavenmagazijn bij verschillende opnamestrategieën.

Figuur 10: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van het orderpakket bij model enkelkraan.

Figuur 11: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van het orderpakket bij model dubbelkraan.

Figuur 12: Orderverwerking in de modellen enkel- en dubbelkraan.

Figuur 13: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de laad- en lostijden.

Figuur 14: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de remweg.

Figuur 15: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de rijsnelheid.

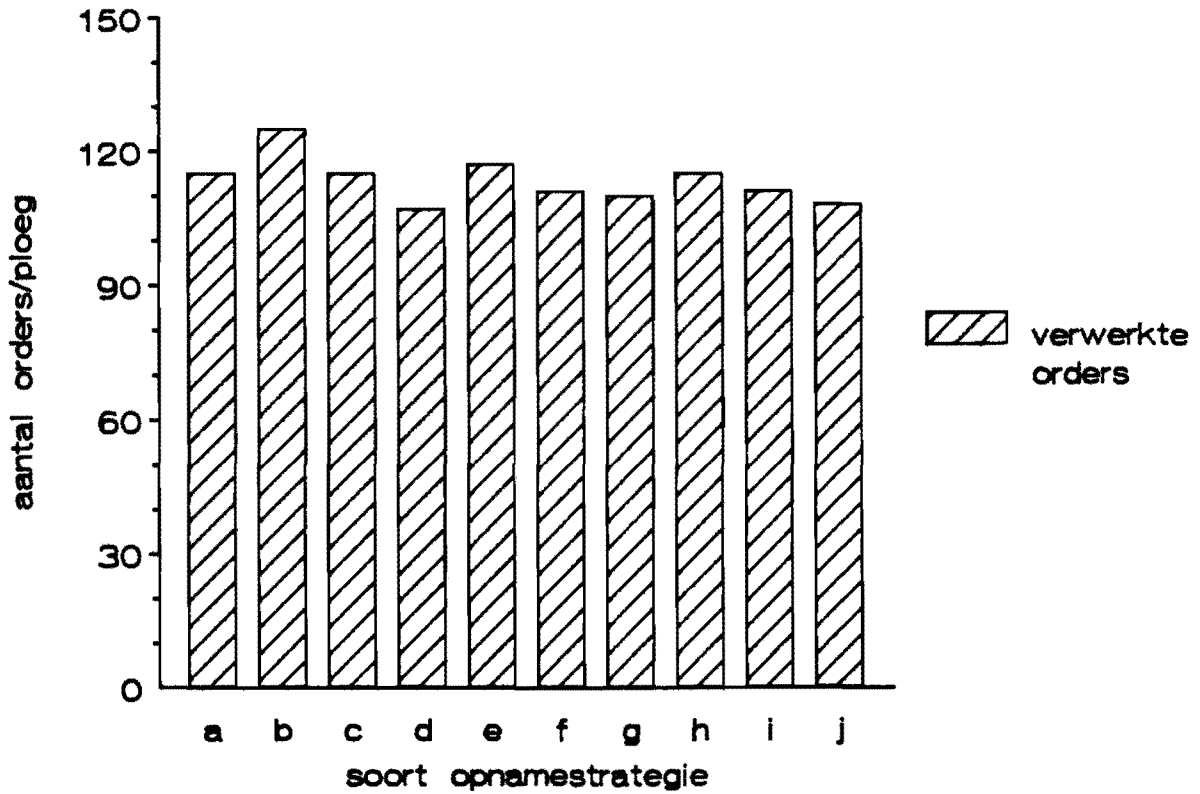


label	soort opnamestrategie
a	maximale relatieve bezetting
b	kortste rijweg
c	FIFO
d	prioriteit voor wegzetten van cassettes en voor stations met de hoogste bezettingsgraden
e	prioriteit voor wegzetten cassettes
f	prioriteit voor wegzetten cassettes en voor stations met de langste gemiddelde bewerkingstijd
g	prioriteit voor wegzetten cassettes en voor stations in volgorde 6, 7, 8, 1, 2, 3, 4, 5, 9
h	prioriteit voor wegzetten cassettes en voor stations met laagste bezettingsgraad
i	prioriteit voor wegzetten cassettes en voor stations met kortste bewerkingstijd
j	maximale absolute bezetting

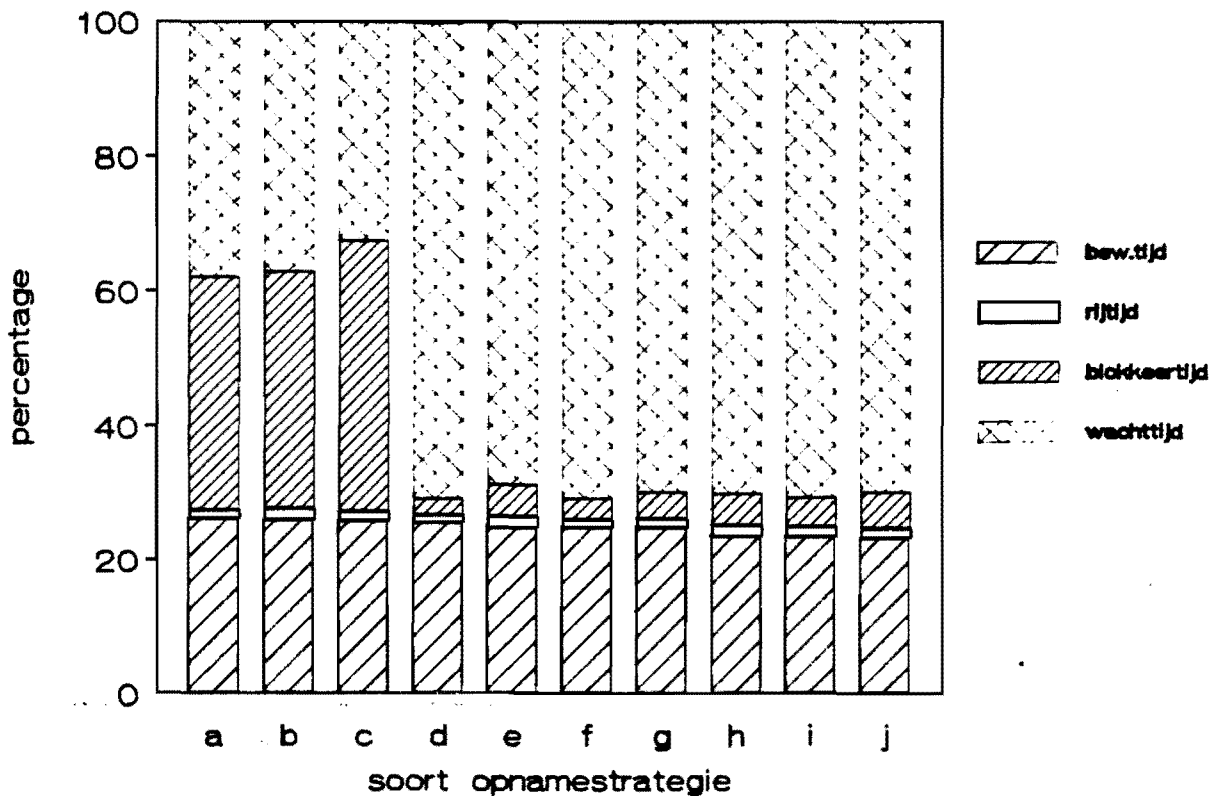
Tabel 11: Soorten opnamestrategieën.

Voor de betekenis van deze strategieën wordt verwezen naar bijlage 4, waar deze strategieën worden beschreven.

## opnamestrategieën remweg = 5 m

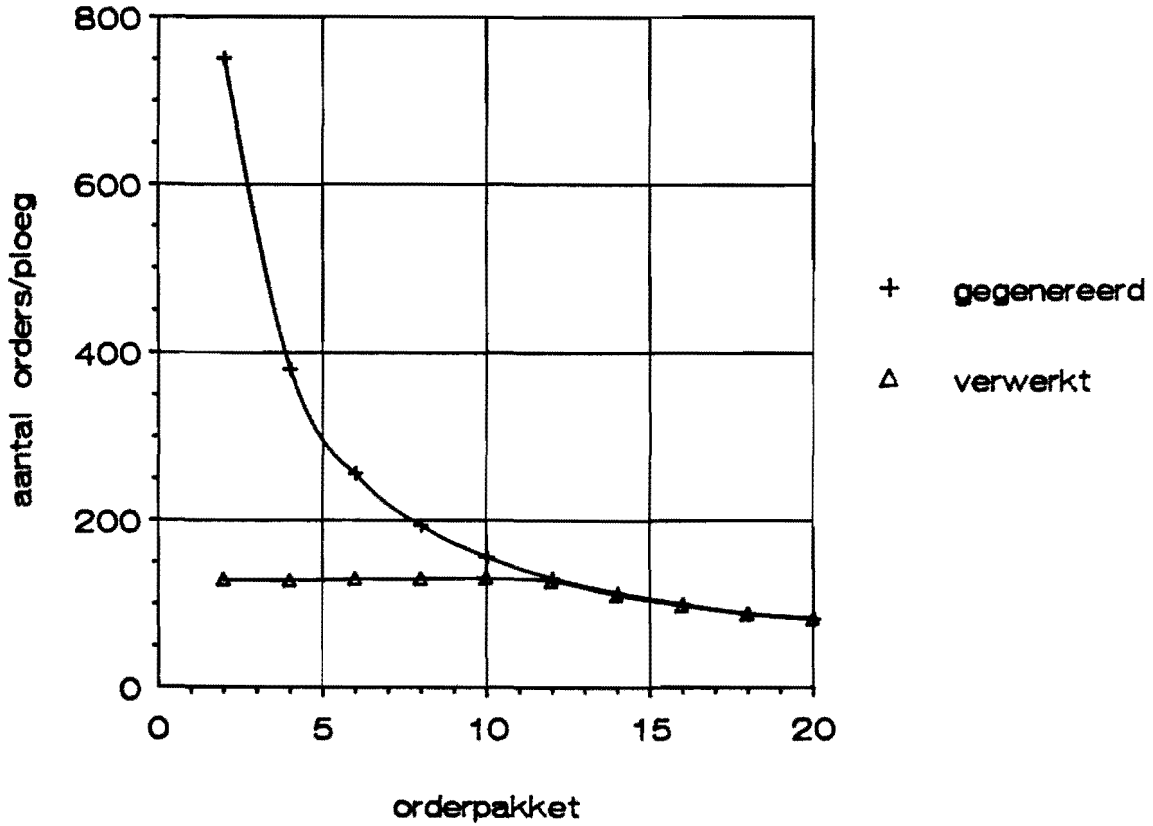


## opnamestrategieën remweg = 5 m

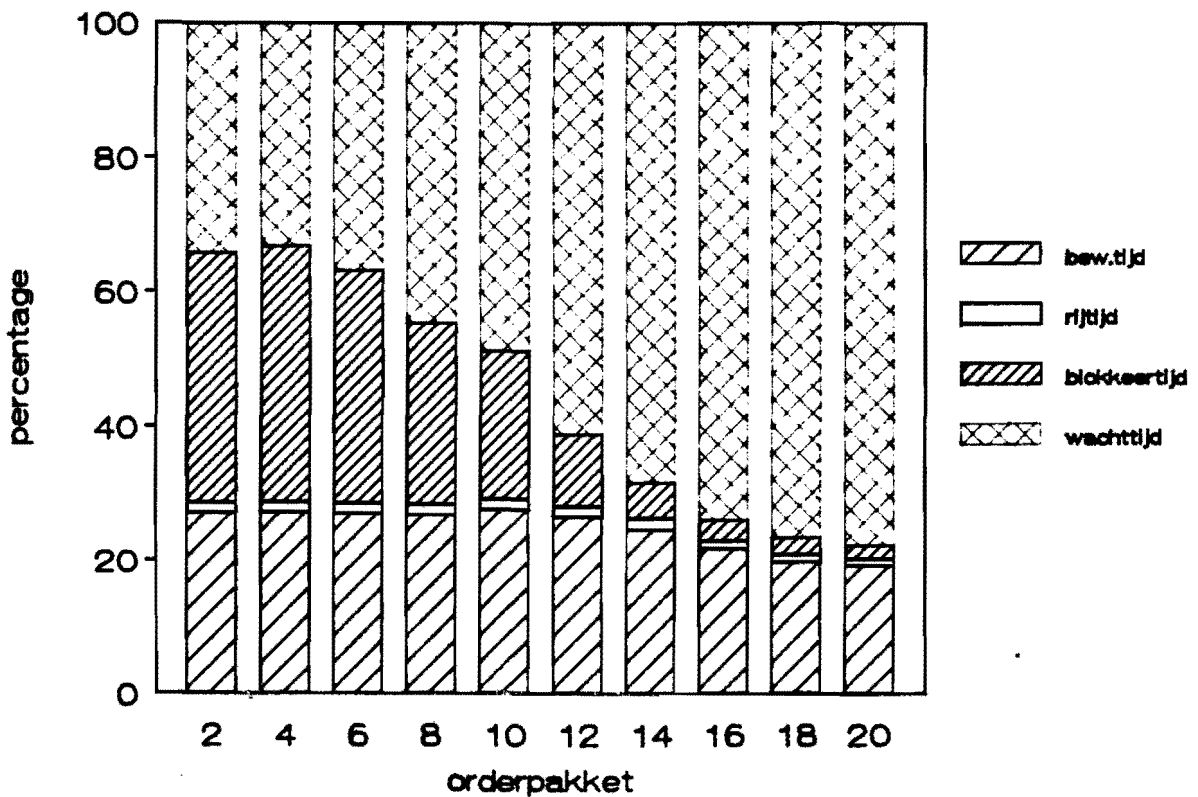


Figuur 9: Kengetallen van het stavenmagazijn bij verschillende opnamestrategieën.

enkelkraan  
remweg = 1 m

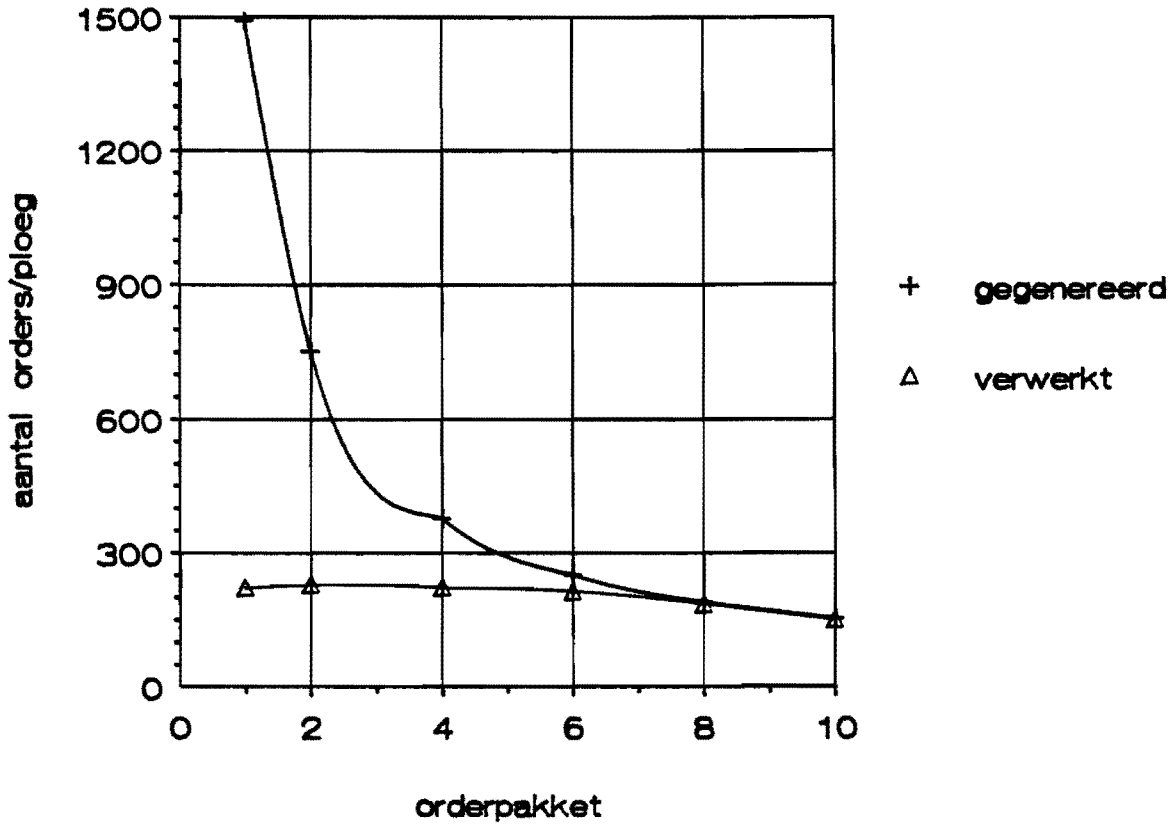


enkelkraan  
remweg = 1 m

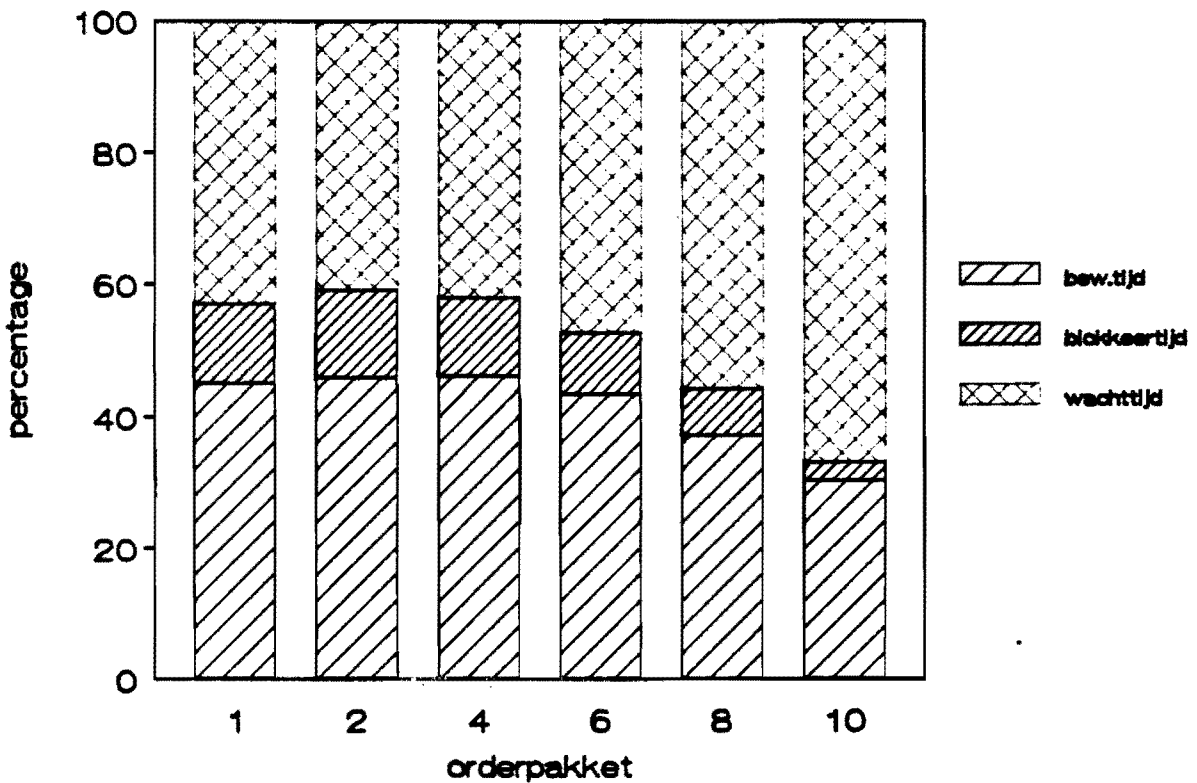


Figuur 10: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van het orderpakket bij model enkelkraan.

dubbelkraan  
remweg = 1 m



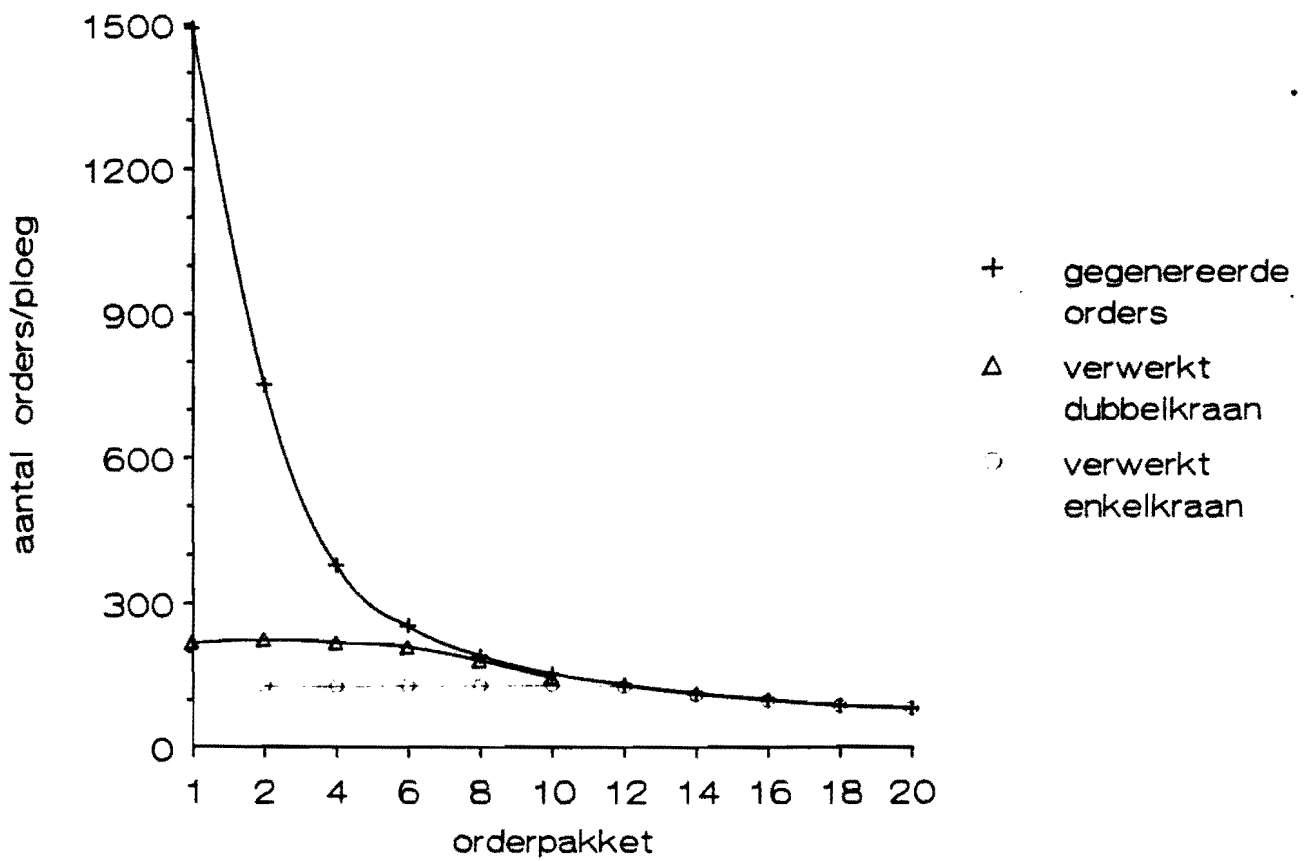
dubbelkraan  
remweg = 1 m



Figuur 11: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van het orderpakket bij model dubbelkraan.

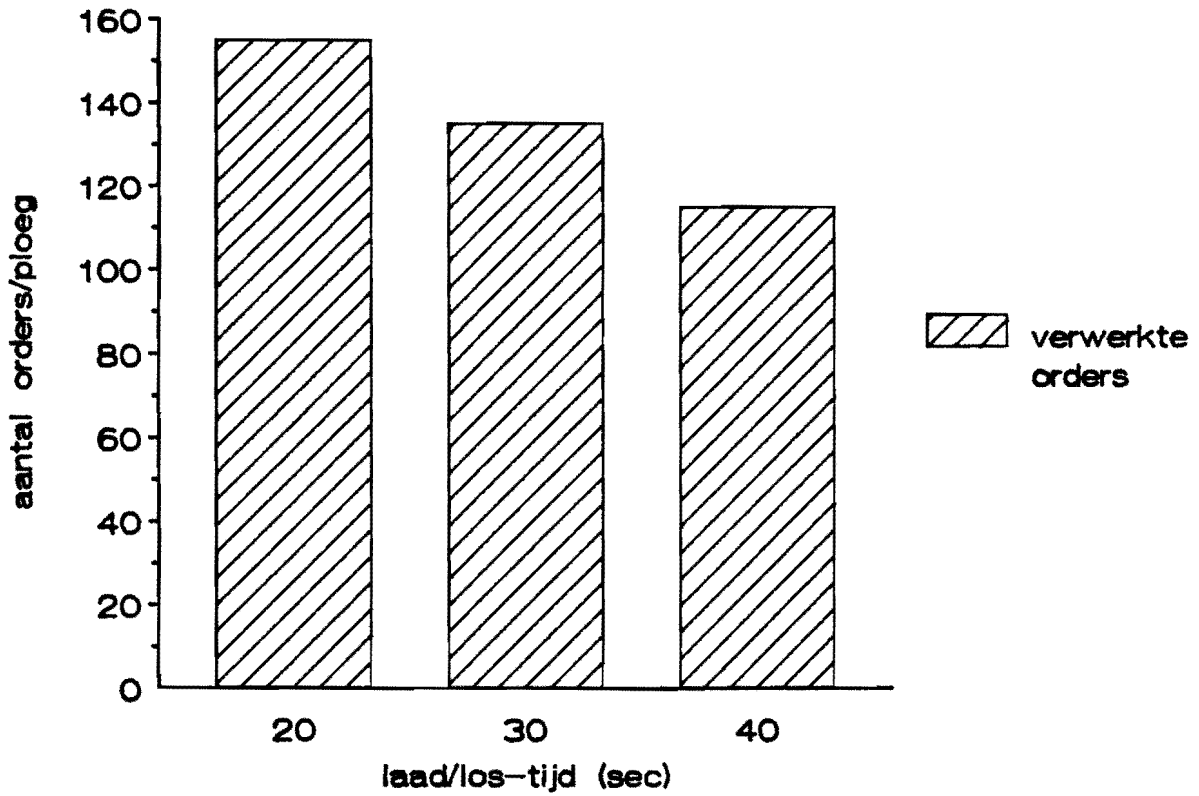
## orderverwerking

remweg = 1 m

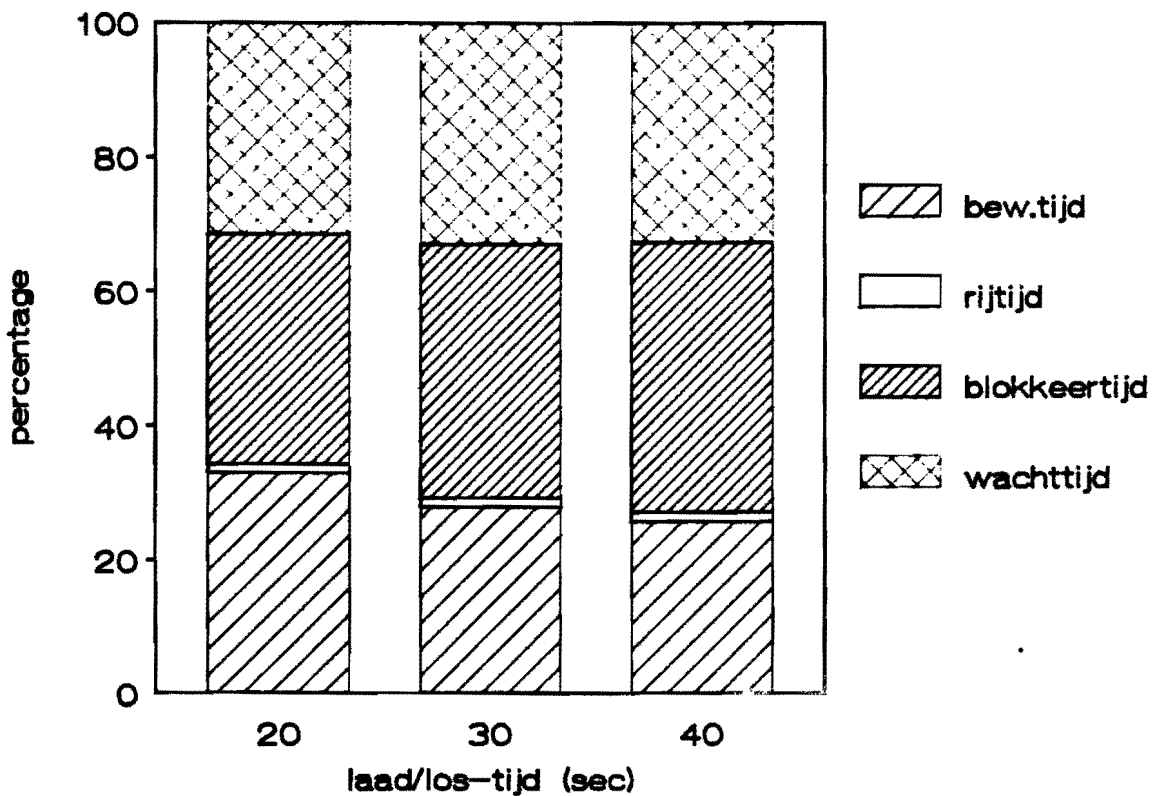


Figuur 12: Orderverwerking in de modellen enkel- en dubbelkraan.

### laad/los-tijden remweg = 5 m

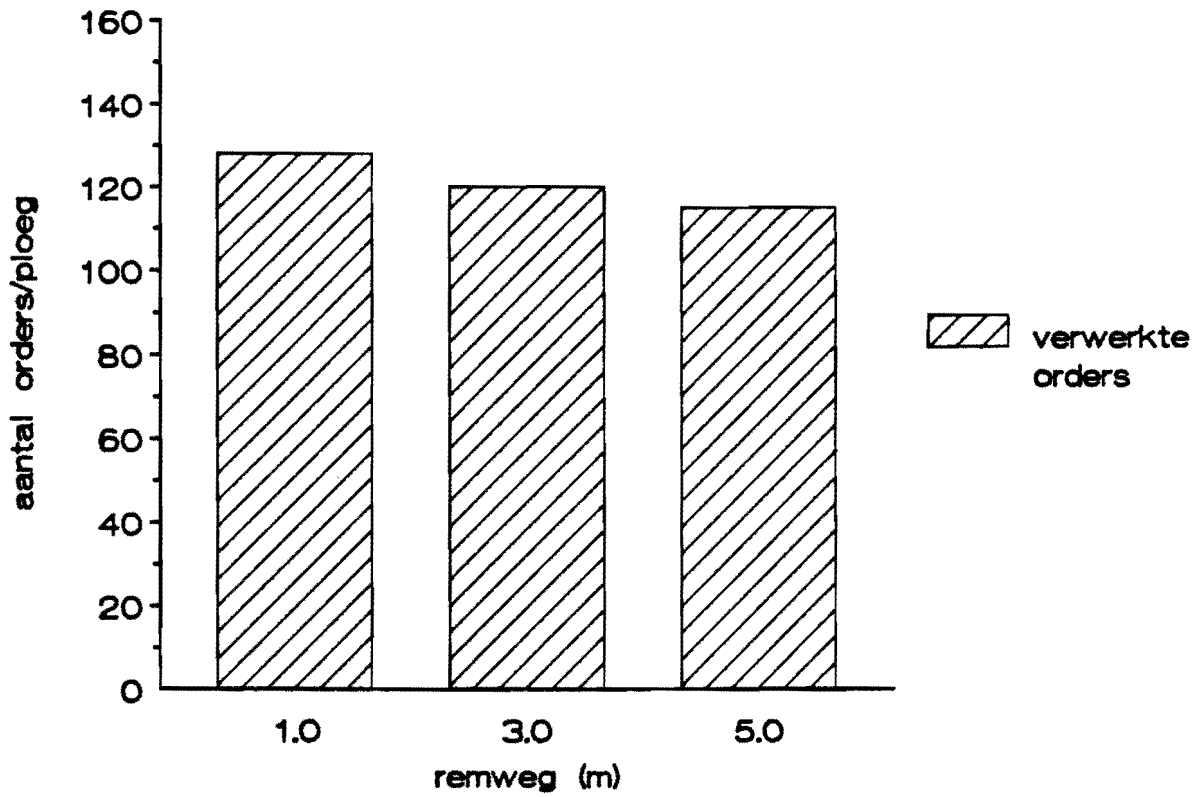


### Laad/los-tijden remweg = 5 m

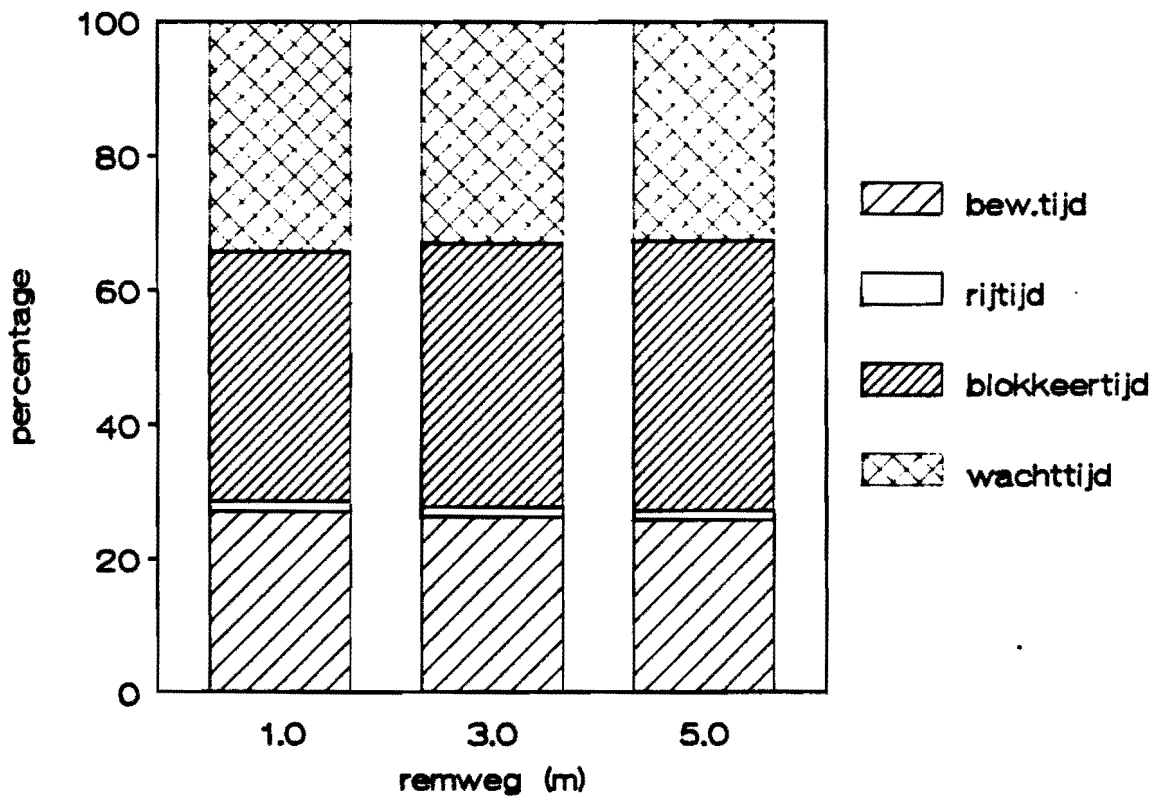


Figuur 13: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de laad- en lostijden.

remweg  
laad/los-tijd = 40 sec

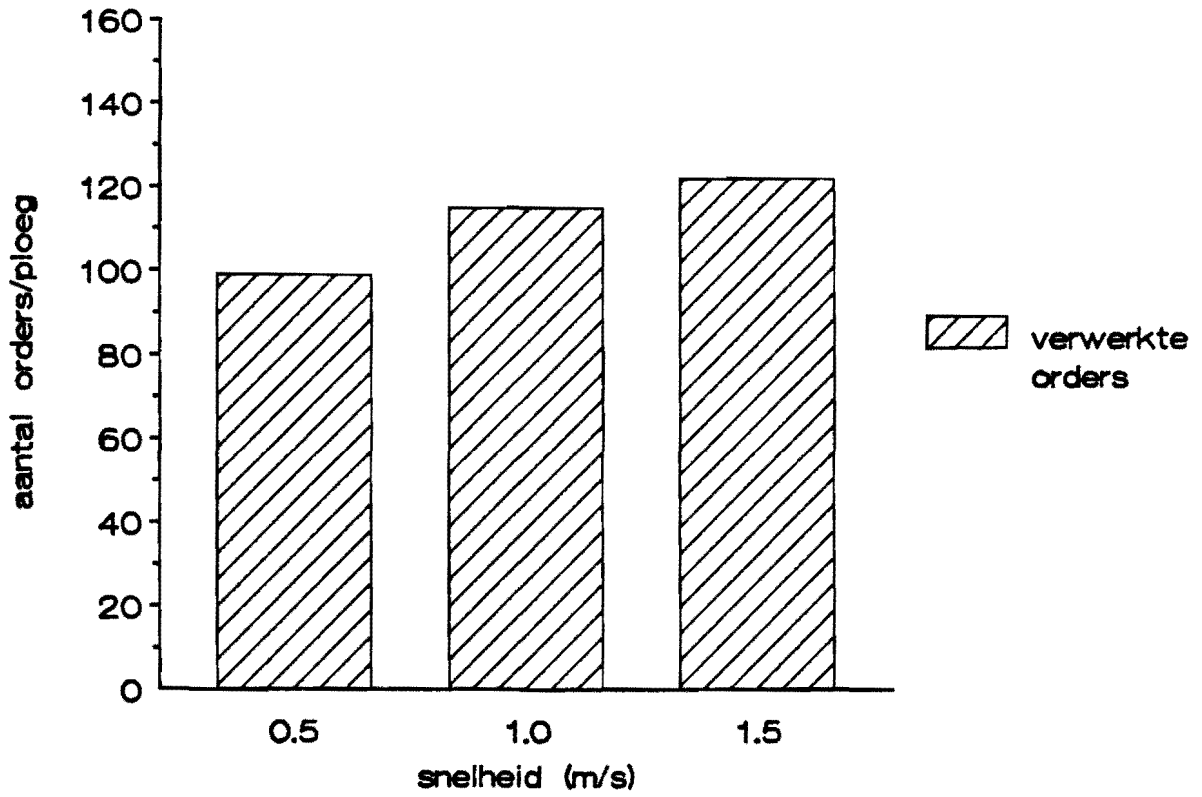


remweg  
laad/los-tijd = 40 sec

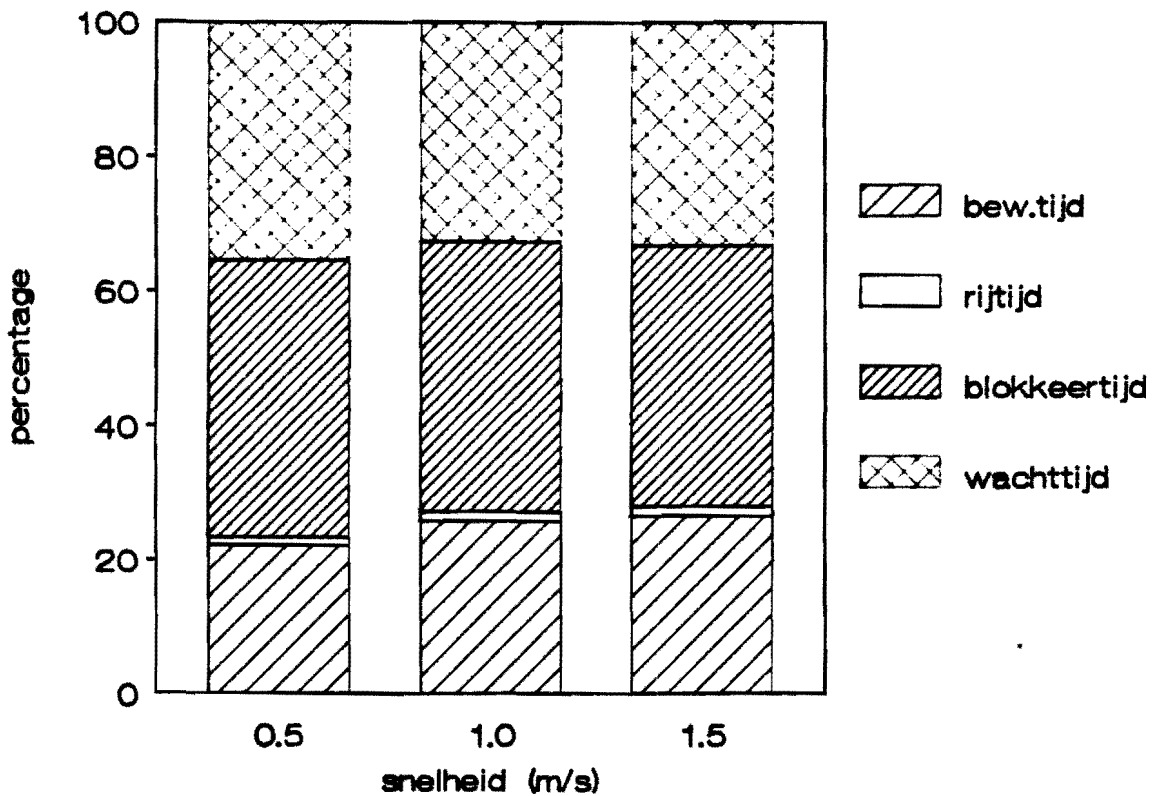


Figuur 14: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de remweg.

rijsnelheid  
remweg = 5 m



rijsnelheid  
remweg = 5 m



Figuur 15: Kengetallen van het stavenmagazijn bij variatie van de rijsnelheid.