

Ontwikkeling en realisatie van industriële systemen

Citation for published version (APA):

Rooda, J. E., & Overwater, R. (1985). Ontwikkeling en realisatie van industriële systemen. In A. K. de Jong, & P. P. Roessel (editors), *Logistiek vademecum* (blz. 31-35). MISSET.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1985

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

D.1. Ontwikkeling en realisatie van industriële systemen

Prof. dr. ir. J. E. Rooda en ir. R. Overwater

1. Inleiding

Transport en produktie vinden reeds lange tijd plaats. Tal van transport- en produktiewerktuigen zijn in de loop der tijden ontwikkeld. Oorspronkelijk werden deze werktuigen beschouwd als zelfstandige eenheden. In de laatste decennia is het inzicht gegroeid dat zij deel uit maken van een groter geheel: het industriële 'systeem'.

De moderne industriële systemen kenmerken zich door een grote omvang en een steeds hogere graad van automatisering. Om het overzicht te kunnen bewaren tijdens de ontwikkeling en realisatie van dergelijke systemen is een geschikte denkwijze van groot belang. Die denkwijze beïnvloedt niet alleen de kwaliteit van het systeem, maar tevens de kwaliteit van het project waarin het systeem wordt ontwikkeld. De structuur van het systeem en de organisatie van het project hangen nauw met elkaar samen. Een goede denkwijze verdeelt het systeem in begrijpelijke stukken en maakt een zinnvolle werkverdeling binnen het project mogelijk. Een benadering die hiervoor goede mogelijkheden biedt is de systeemtheorie.

2. Aspecten van industriële systemen

Een technisch systeem, waaronder industriële systemen, doorloopt gedurende zijn bestaan een vijftal fasen (afb. 1):

1. de oriëntatiefase,
2. de ontwerpfasen,
3. de bouwfasen,
4. de gebruiksfase,
5. de ontmantelingsfase.

Het begin van de **oriëntatiefase** is moeilijk aan te geven. Op een gegeven moment wordt men zich be-

wust van een zekere behoefte. In een vooronderzoek moet worden aangetoond dat het zowel zinvol als mogelijk is om een nieuw systeem te ontwikkelen dat in de gevonden behoefte kan voorzien. Wordt het vooronderzoek met positief resultaat afgesloten, dan is een nieuw systeem in zijn meest elementaire vorm ontstaan.

De **ontwerpfase** begint met het formuleren van het doel van het systeem. Een heldere formulering is van cruciaal belang om tot een succesvolle afsluiting van de ontwerpfasen te komen. Licht het doel duidelijk vast dan kunnen strategieën worden gezocht om dit doel te bereiken. Veelal worden deze strategieën vastgelegd in de vorm van schetsen en tekeningen. Soms worden ook prototypen van het systeem gebouwd. Met behulp van deze middelen kan men zich een beeld van het nieuwe systeem vormen. Het maken van een ontwerp verloopt meestal niet rechttoe rechtaan. Ontwerpen gaat gepaard met vallen en opstaan. Zelden is de eerst gevonden oplossing tevens de beste. Verscheidene alternatieven moeten worden ontwikkeld en onderzocht om tot een goed passende oplossing te komen.

Nadat het systeemontwerp gereed is gekomen, gaat het systeem de **bouwfase** in. In deze fase worden alle stappen ondernomen om het systeem gebruiksklaar te maken. Deze stappen zijn o.a. het maken van werktekeningen, het bestellen van alle benodigdheden en de fabricage van de componenten. Nadat het systeem is opgebouwd, getest en goed bevonden, kan het worden vrijgegeven voor gebruik.

In de **gebruiksfase** moet het geld, dat in het systeem

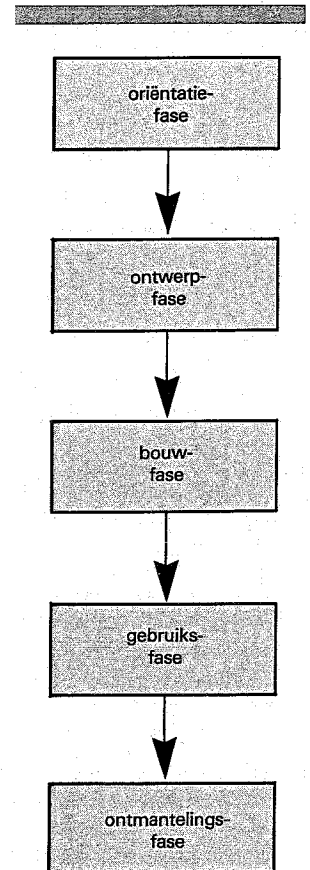
is geïnvesteerd, worden terugverdiend. Nu zal blijken of het systeem functioneert zoals werd verondersteld in de ontwerpfasen of niet. Een probleem in deze fase is dat onder invloed van externe ontwikkelingen de doelstellingen van het systeem kunnen veranderen. Het hangt van de flexibiliteit van het systeem af, in hoeverre dit aan de veranderende omstandigheden kan worden aangepast.

De **ontmantelingsfase** doet zijn intrede op het moment dat het systeem niet langer aan de gestelde doelen kan voldoen. Het systeem zal dan moeten verdwijnen. In deze fase worden alle acties ondernomen om dit op een verantwoorde wijze te laten verlopen.

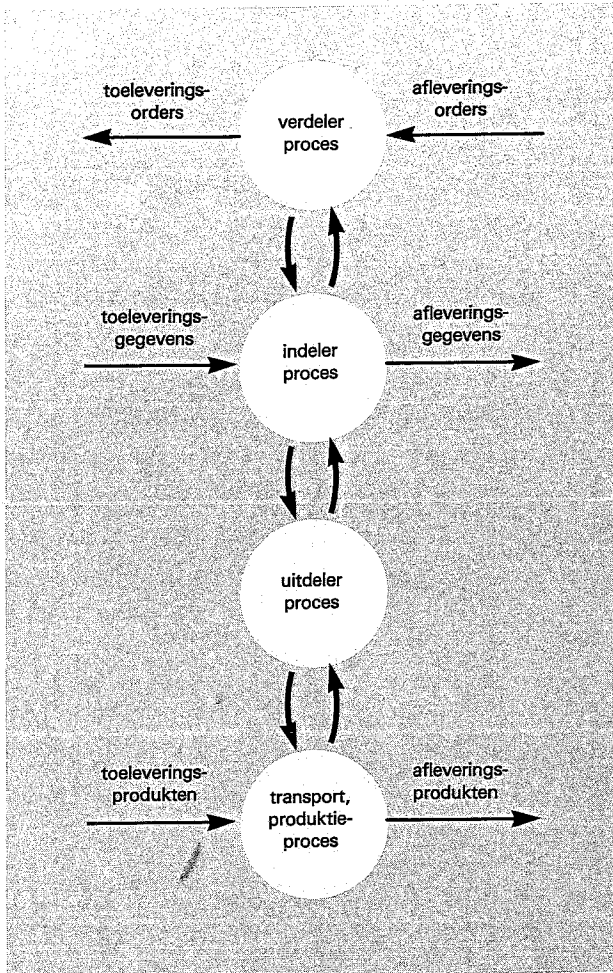
3. Opbouw industrieel systeem

Het doel van een industrieel systeem is het produceren van materiële goederen. De produktie kan op continue wijze plaatsvinden, maar kan ook discreet van aard zijn. Continu wil zeggen dat de veranderingen in het systeem vloeiend in de tijd verlopen, zoals dit bijvoorbeeld in de petro-chemische industrie het geval is. Discreet betekent dat deze veranderingen stapsgewijs plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is de auto-industrie. De meeste transport- en produktiesystemen zijn discreet van aard.

Een industrieel systeem kan worden verdeeld in verschillende produktie-eenheden. Deze eenheden zijn aan elkaar gekoppeld via materie-, informatie- en energiestromen. Iedere eenheid transformeert de binnenkomende materie op een of andere wijze. Via de informatiestromen worden de gegevens overgedragen die nodig zijn om het systeem



1. De vijf levensfasen van een industrieel systeem



2. Opbouw van een productie-eenheid

op alle niveaus te kunnen besturen. De energiestromen zorgen ervoor dat het systeem in stand kan worden gehouden. Een productie-eenheid kent processen op vier verschillende niveaus. Deze niveaus zijn weergegeven in afb. 2. Iedere cirkel duidt een aantal processen aan. De drie bovenste niveaus bevatten besturingsprocessen. Op het laagste niveau bevinden zich de processen die de materie behandelen. De pijlen geven interacties aan met processen op andere niveaus en in de omgeving (Rooda, Arentsen, 1983). De processen op het hoogste niveau zijn belast met de productieplanning. Hier wordt bepaald waar welke producten moeten worden geproduceerd. Dit niveau verdeelt de orders over het productie-apparaat. Op het tweede niveau wordt de 'scheduling' van de productie verzorgd. Op basis van de beschikbare voorraden en aan de hand van de binnengekomen opdrachten wordt bepaald in welke

volgorde de producten zullen worden vervaardigd. Hier worden de opdrachten ingedeeld. Op het derde niveau wordt de voortgang op de werkvloer gecoördineerd. Het werk wordt hier als het ware uitgedeeld. Op het laagste niveau tenslotte vinden transport en productie werkelijk plaats. Dit niveau omvat de mensen en middelen die de gewenste verplaatsingen en bewerkingen van de materie realiseren.

4. Ontwerpen en simuleren industrieel systeem

Bij het ontwerpen van industriële systemen speelt het systeemgedrag een belangrijke rol. Een systeem moet een bepaald gedrag vertonen om aan zijn doel te beantwoorden. In de ontwerpfase moet dit gedrag reeds worden bedacht en moeten de middelen worden gevonden om het te realiseren. Het systeemgedrag wordt grotendeels bepaald door de manier waarop de verschillende systeemdelen met elkaar samenwerken. De besturing van het systeem heeft de taak deze samenwerking te coördineren en zodoende het systeemgedrag te beheersen. Daarom moet bij het ontwerpen veel aandacht worden besteed aan de samenwerkingsverbanden en de besturingsstrategieën op alle systeemniveaus. Bij de keuze van werktuigen moet rekening worden gehouden met zowel de besturingsstrategieën als de fysieke omgeving van het systeem. Gedurende het ontwerpproces worden er modellen van het systeem gemaakt. Deze modellen zijn nodig om over het systeem in ontwikkeling te kunnen praten en denken. In het begin heb-

ben de modellen de vorm van doel- en functiebeschrijvingen, maar gaandeweg worden zij concreter. Voor de meeste technische systemen, waaronder transport- en productiesystemen, is het eindresultaat een serie tekeningen die de layout en de werktuigen van het systeem beschrijven. Deze tekeningen bieden weliswaar een goed middel om over het systeem te communiceren, maar zijn door hun aard weinig geschikt om inzicht in het systeemgedrag te verkrijgen. Hiervoor moet er aan systemen kunnen worden gerekend.

Mechanische systemen, zoals werktuigen, laten zich goed berekenen doordat de samenhang tussen de verschillende systeemdelen wordt bepaald door fysische relaties. Deze relaties kunnen worden beschreven in wiskundige formules, waarmee analytisch kan worden gerekend.

Voor industriële systemen ligt dit anders. De relaties tussen de systeemdelen zijn daarin stochastisch van aard, waardoor het niet meer mogelijk is het systeemgedrag analytisch door te rekenen. Discrete simulatie biedt hiervoor een beter middel (Boot, Rooda, 1984). Op basis van de systeem-layout en besturingsstrategieën kan de ontwerper een simulatiemodel van het systeem bouwen. Dit model kan worden beschreven in termen van een computerprogramma en biedt zodoende de mogelijkheid om simulatie-experimenten op een computer uit te voeren. Het computerprogramma wordt dan simulatieprogramma genoemd.

Uit het voorgaande blijkt dat ontwerpen, simuleren en besturen nauw met elkaar samenhangen. Alle drie

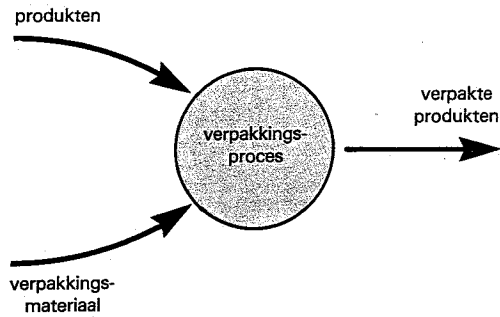
hebben betrekking op het systeemgedrag. **Ontwerpen betekent het bedenken van systeemgedrag, simuleren houdt het beproeven van systeemgedrag in en besturen is het beheersen van het systeemgedrag.** Het ligt dan ook voor de hand een en dezelfde denkwijze te hanteren voor ieder van deze gebieden. Een benadering die deze integratie van ontwerpen, simuleren en besturen mogelijk maakt is de systeemtheorie. In het navolgende zullen nu eerst enige begrippen uit de systeemtheorie worden geïntroduceerd. Voor een uitgebreidere beschrijving van het begrippenapparaat, zie Rooda en Boot (1983a).

5. Begrippen in systeemtheorie

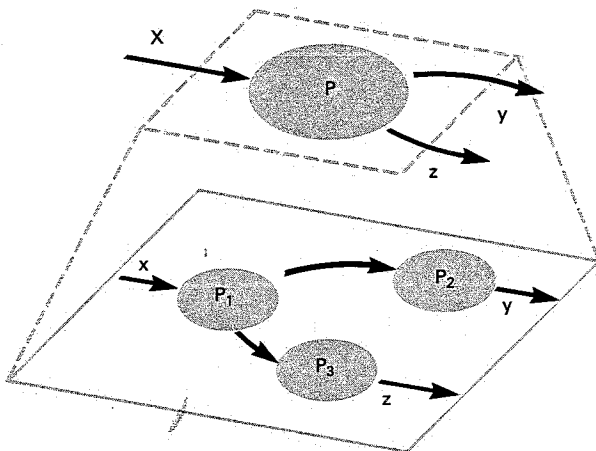
Het begrip 'systeem' is tamelijk abstract. Toch heeft iedereen wel een bepaalde voorstelling bij het begrip. Vaak wordt aan grote complexe dingen gedacht. Dit beeld gaat op voor bijvoorbeeld fabrieken, havens, computers, de spoorwegen of de PTT. Maar ook kleinere dingen kunnen als systeem worden aangemerkt, zoals een produktiemachine, een auto, een koffiezetapparaat of een chip. Kenmerkend voor alle systemen is dat zij zijn opgebouwd uit elementen en relaties. Elementen zijn er in twee soorten: levende elementen en levenloze elementen. Levende elementen zijn in staat om acties uit te voeren. Zij kunnen afwisselend actief en passief zijn. Voorbeelden zijn machines, robots, transportwerktuigen, voertuigen, computers en mensen. Levenloze elementen kunnen geen activiteiten ontplooiën, zij kunnen slechts acties ondergaan. Het zijn bijvoorbeeld contain-

ners, pallets, kratten of dozen, maar ook niet-materiële dingen zoals orders, gegevens of (besturings-)signalen. De relaties in het systeem bepalen hoe de verschillende elementen samenhangen. Ieder levend element voert een proces uit, dat wil zeggen het voert herhaaldelijk een aantal dezelfde acties uit. Een verpakkingmachine, bijvoorbeeld, voert iedere keer dezelfde handelingen uit, steeds op een volgend produkt. Verscheidene processen kunnen ook tegelijkertijd plaatsvinden. In een industrieel systeem is dit goed te zien. Vele transport-, produktie- en besturingsprocessen spelen zich hierin gelijktijdig af. Tussen de levende elementen in een systeem bestaan samenwerkingsverbanden. De relaties, die deze samenwerkingsverbanden beschrijven, worden interacties genoemd. Via interacties beïnvloeden levende elementen elkaars procesvoortgang. De hiervoor genoemde verpakkingmachine laat verschillende interacties met zijn omgeving zien. Enerzijds kan de machine alleen voort als er vanuit de omgeving voldoende verpakkingsmaterialen en produkten worden aangeleverd. Anderzijds zullen er processen in de omgeving zijn die de verpakte produkten nodig hebben. Iedere interactie kent een mechanisme waardoor de samenwerking tussen de processen tot stand komt. Er worden drie basismechanismen onderscheiden, namelijk het buffer-mechanisme, het signaal-mechanisme en het interrupt-mechanisme. Ieder mechanisme voorziet in een zend-achtige actie, de S(end)-actie, en een ontvang-achtige actie, de R(eceive)-actie. Samenwerking via het buf-

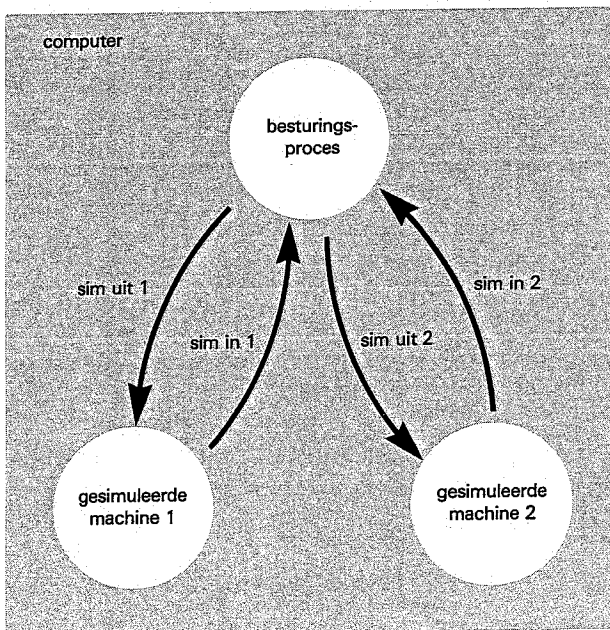
fer-mechanisme laat processen 'asynchroon' verlopen. Bij dit mechanisme is er tenminste een proces dat door het uitvoeren van een S-actie de buffer aanvult. Andere processen proberen dan via een R-actie objecten uit de buffer te betrekken. Het uitvoeren van een R-actie impliceert dat een proces passief wordt als de buffer leeg is. Het proces wordt weer actief op het moment dat er nieuwe voorraad arriveert. In het vorengenoemde voorbeeld kan men zich de werking van het buffer-mechanisme goed voorstellen. Zodra de voorraad produkt of verpakkingmateriaal is uitgeput, zal de voortgang van het verpakkingproces stoppen. Vult de omgeving de voorraad weer aan, dan kan het proces worden hervat. Door gebruik te maken van het signaal-mechanisme kunnen processen precies 'synchroon' lopen. Volgens dit mechanisme stuurt een proces een signaal naar een ander proces. Als dit laatste proces in afwachting van het signaal is, dan zal het erdoor worden geactiveerd. Is het proces echter reeds actief, dan heeft het signaal geen enkel effect. Het aflopen van een wekker is een voorbeeld van dit mechanisme. Men reageert alleen op het weksignaal als men nog niet is opgestaan. Het geven van het signaal is hier de S-actie, het opvangen en reageren erop de R-actie. Het interrupt-mechanisme geeft een proces de mogelijkheid om een ander proces te onderbreken. Het onderbroken proces reageert op de onderbreking door een zogenaamde interrupt-routine af te werken. Daarna wordt het onderbroken werk hervat. In tegenstelling tot het signaal-mechanisme maakt het hierbij niet uit of het te onderbreken proces



3. Het Process Interaction Diagram (PRIND) van een verpakkingsmachine



4. Het uitwerken van een PRIND



5. Structuur van het simulatieprogramma

staat te wachten of actief is. Het gebruik van de telefoon illustreert dit mechanisme. Door iemand op te bellen wordt een S-actie uitgevoerd. Bij het overgaan van de telefoon reageert de ander door zijn werkzaamheden te onderbreken en de telefoon op te nemen. Dit is

de R-actie. De interrupt-routine bestaat uit het afhandelen van het gesprek. Na afloop van het gesprek wordt het werk weer hervat. Processen en levende elementen kunnen met elkaar worden geïdentificeerd. Ieder levend element voert zijn eigen proces uit. Een systeem kan dan ook worden gezien als een samenstel van processen en interacties. Deze zienswijze wordt de 'process-interaction' benadering genoemd.

6. Toepassing van de systeemtheorie

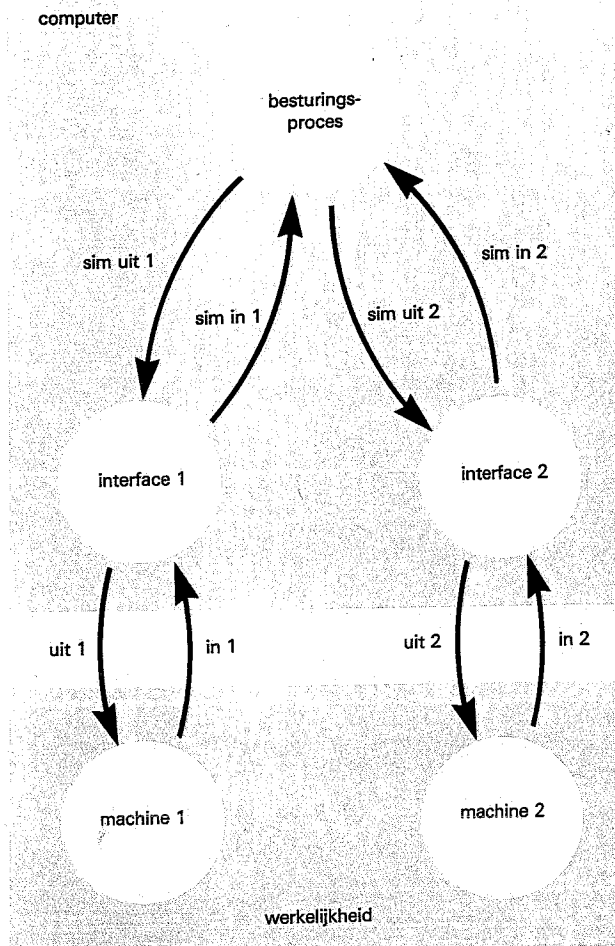
In het voorgaande werd reeds gewezen op de samenhang tussen het ontwerpen, simuleren en besturen van systemen. Deze drie gebieden hebben respectievelijk betrekking op het bedenken, het beproeven en het beheersen van het systeemgedrag. Door toepassing van de systeemtheorie, met name de daarop gebaseerde process-interaction benadering – tijdens de ontwikkeling en realisatie van industriële systemen – kan een belangrijke integratie van de drie gebieden worden bereikt.

De process-interaction benadering wordt al langere tijd gebruikt voor simulatiedoeleinden. De benadering heeft getoond een krachtige beschouwingswijze voor industriële systemen te zijn, waarmee op een natuurlijke en efficiënte manier simulatiemodellen kunnen worden gebouwd (Rooda, 1981, 1982, 1983; Boot, Rooda, 1984).

Tegen de achtergrond dat een simulatiemodel toch moet worden gebouwd om inzicht in het systeemgedrag te verkrijgen, ontstond het idee de process-interaction benadering tevens toe te passen voor het ontwerpen en besturen van indu-

striële systemen. In deze gedachtengang betekent ontwerpen het ontwikkelen van een simulatiemodel van het toekomstige systeem. Deze werkwijze biedt het voordeel dat reeds tijdens de ontwikkeling inzicht kan worden verkregen in het systeemgedrag. Voor de ontwikkeling van het simulatieprogramma is een ontwerpstechniek beschikbaar, die is gebaseerd op de process-interaction benadering (Overwater, Rooda, 1984). De techniek maakt gebruik van twee gereedschappen: het Process Interaction Diagram (PRIND) en het Data Dictionary (DD). Een PRIND representeert op grafische wijze de processen en interacties in een systeem. Bij ieder PRIND hoort een DD, waarin de processen en interacties zijn gedocumenteerd.

Afb. 3 laat het PRIND zien van de eerder genoemde verpakkingsmachine. In een PRIND worden processen weergegeven met bollen en interacties met pijlen. De kleur van de pijlen geeft het mechanisme van de interactie aan. Iedere bol kan worden uitgewerkt tot een nieuw PRIND. Dit principe is weergegeven in afb. 4. Op die manier kunnen zeer complexe systemen stap voor stap worden ontwikkeld. In de DD's worden de processen en interacties gedocumenteerd met behulp van een pseudo-code of programmeertaal. Zodoende vormen de DD's de basis voor het beoogde simulatieprogramma. Met behulp van dit programma wordt het systeemgedrag beproefd. De resultaten van de simulatie-experimenten kunnen aanleiding geven het systeemontwerp te veranderen. Door zijn modulaire opbouw kan het programma eenvoudig worden aangepast. Het gewijzigde



6. Het simulatieprogramma als besturingsprogramma

ontwerp kan vervolgens opnieuw worden getest. Is het ontwerp eenmaal naar wens, dan gaat het systeem de bouwfase in.

In het simulatieprogramma zijn de besturingsroutines en de werktuigen gescheiden van elkaar beschreven. In afb. 5 is dit in de vorm van een PRIND weergegeven. Deze opzet biedt de mogelijkheid het simulatieprogramma op betrekkelijk eenvoudige wijze om te bouwen tot een besturingsprogramma. (Rooda, Boot, 1984). Dit wordt als volgt gedaan. In het simulatieprogramma worden de gesimuleerde werktuigen vervangen door interfaces, waaraan de werkelijke werktuigen kunnen worden gekoppeld. De rest van het programma blijft nagenoeg ongewijzigd. Hierdoor ontstaat een computerprogramma dat in de 'gebruiks'fase kan worden gebruikt voor de

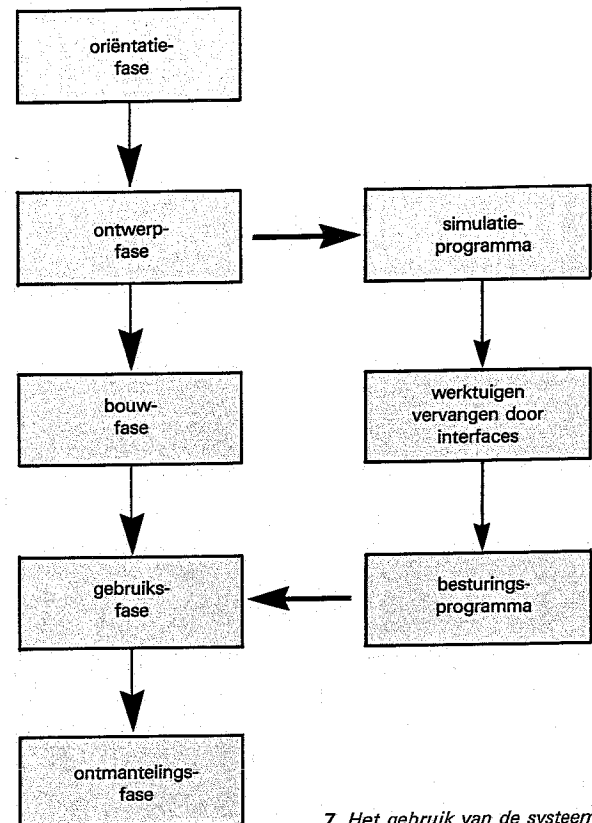
werkelijke besturing van het systeem. In plaats van de gesimuleerde werktuigen worden dan de werkelijke werktuigen bestuurd. Deze situatie wordt geïllustreerd door afb. 6.

De zojuist beschreven werkwijze is nogmaals schematisch weergegeven in afb. 7.

7. Voordelen systeemtheorie

Tot besluit worden nog enkele belangrijke voordelen genoemd, die de toepassing van de systeemtheorie voor het ontwikkelen en realiseren van industriële systemen oplevert:

- Er kan op een gestructureerde wijze aan de ontwikkeling van (complexe) systemen worden gewerkt. Dit komt niet alleen de structuur van het systeem, maar ook de organisatie van het project ten goede. Beide aspecten beïnvloeden de kwaliteit van het systeem.
- Er wordt slechts één model van het systeem gemaakt. Een en hetzelfde model wordt gebruikt voor



7. Het gebruik van de systeemtheorie voor het ontwerpen, simuleren en besturen van systemen

het ontwerpen, simuleren en het besturen van het systeem. Deze integratie betekent een aanzienlijke tijdsbesparing.

- Het systeemgedrag kan reeds vóór de bouwfase worden getest. Zodoende kan worden voorkomen dat een systeem wordt gebouwd dat niet werkt.

Literatuur

- Boot W. C., Rooda J. E., Discrete simulatie in de goederenstroom; *Transport en Opslag* 8(7), 76-78 (1984)
- Overwater R., Rooda J. E., Toepassing van een ontwerpstechniek voor industriële systemen; *Transport en Opslag* 9(1), 64-67 (1985)
- Rooda J. E., Discrete Event Simulation for the Design and Operation of Logistics Systems; *Proceedings of the International Congress of Logistics Engineers, San Francisco* (1981)
- Rooda J. E., Voorstudie van een orderverzamelsysteem; *Transport en Opslag* 7(2), 73-75 (1983)
- Rooda J. E., Arentsen J. H. A., Een structuurmodel voor de beschrijving van transport- en productiesystemen; *Transport en Opslag* 7(10), 88-90 (1983)
- Rooda J. E., Boot W. C., Systemen en Modellen; Memorandum 39, Afdeling der Werktuigbouwkunde, TH Twente, Enschede (1983a)
- Rooda J. E., Boot W. C., A combined approach for the design and control of logistics systems; *Proceedings of the 4th International Logistics Congress, part II*, 131-135, Dortmund (1983b)