SYSTEMEN EN SIMULATIE I

door drs. A. Bosman

Systemen

1 *Inleiding*

De termen systeem en simulatie zijn, om een modewoord te gebruiken, „in". Men kan geen boek, tijdschrift, zelfs dagblad, openslaan of men komt er vrijwel zeker het woord systeem in tegen. Voor de term simulatie geldt dat in iets mindere mate, maar ook daarover wordt in de vakbladen veel geschreven. Ongetwijfeld reeds een aanleiding beide termen aan een onderzoek te onderwerpen. Er zijn echter nog andere redenen, die, zoals zal worden aangetoond, een bespreking van beide in een bedrijfseconomisch vakblad gewenst maken. De benoeming van nieuwe redacteuren, waaronder de schrijver, voor de rubriek Bedrijfseconomische literatuur, bood hem de mogelijkheid de bespreking van beide termen in een tweetal artikelen in deze rubriek onder te brengen. Bij het samenstellen van deze artikelen is vooral aandacht besteed aan het geven van een inzicht in de ontwikkeling en samenhang van de begripsmatige inhoud van beide termen. De behandeling beperkt zich hierbij tot een bespreking van de fundamenten waarop de toepassing van zowel systemen als simulatie rusten. Daarnaast zijn veel literatuurverwijzingen opgenomen, zodat men zich eventueel gemakkelijk verder kan oriënteren.

In par. 2 wordt de term systeem aan een onderzoek onderworpen, waarbij blijkt dat het in meerdere betekenissen wordt gebruikt. In par. 3 wordt nagegaan uit welke elementen een systeem is opgebouwd. Bovendien worden in deze paragraaf een drietal methoden besproken die worden gebruikt bij de analyse van systemen. In par. 4 worden de verschillen tussen een systeem en een model behandeld, hierbij wordt in het bijzonder aandacht besteed aan de interpretatie van het begrip model in de economie. Daarnaast wordt in deze paragraaf de werking van de zgn. zelfregulerende systemen vergeleken met methoden voor het vinden van oplossingen voor bepaalde problemen die zich in een organisatie kunnen voordoen. Tussen beide blijkt een grote mate van overeenkomst te bestaan. In par. 5 wordt een aantal systeemtoepassingen, in het bijzonder in relatie met de elektronische rekenmachine, besproken. In par. 6 wordt het begrip simulatie aan een onderzoek onderworpen. In par. 7 worden enkele problemen van programma-technische en statistische aard, die bij het uitvoeren van onderzoekingen met behulp van simulatie dikwijls op de voorgrond treden, behandeld. In par. 8 wordt afgeweken van het daarvoor gevolgde stramien. Naast een overzicht van de literatuur wordt hier een aantal opvattingen van de schrijver gegeven over de methodologische aspecten van simulatie. De schrijver vindt dit een belangrijk punt, omdat verschillen in inzichten en opvattingen over de moderne bedrijfseconomische ontwikkelingen - met name die van de intern-gedragsmodellen - voor een deel kunnen worden teruggebracht op onjuiste of achterhaalde methodologische stellingen. In par. 9 wordt het verband tussen systeem en simulatie besproken. Voorts wordt nagegaan welke mogelijkheden er bestaan voor de toepassing van het begrip systeem, in het bijzonder weer in samenhang met de elektronische rekenmachine.

De termen systeem en simulatie zijn vertalingen van de Angelsaksische woorden system en simulation. In tegenstelling tot vele andere termen uit het Engelse taalgebied waren hier adequate en voor buitenstaanders direct begrijpelijke Neder-

landse termen voorhanden. Voor zover dit niet het geval was, heeft de schrijver de volgende richtlijn gevolgd. Was er wel een adequate Nederlandse vertaling te vinden dan is deze gebruikt met daarachter, de eerste keer dat de term werd genoemd, tussen haken het Engelse woord. Was er geen Nederlandse term voorhanden of werd door de vertaling de spraakverwarring alleen nog maar vergroot, dan wordt de Engelse term onvertaald gebruikt.

2 *Het begrip systeem*

Systeem wordt in drie verschillende betekenissen gebruikt. De eerste zou men de *technische* betekenis kunnen noemen. Men verstaat dan onder een systeem het samenstel van een aantal concrete objecten, zoals een systeem van rivieren, maar bijv. ook het menselijk lichaam en een complexe machinerie. Deze laatste kan dan bestaan uit één apparaat met verschillende min of meer zelfstandig werkende onderdelen of uit een aantal, qua opbouw, eenvoudiger apparaten, die onderling nauw samenwerken of uit een combinatie van beide. Men spreekt in dit verband ondermeer over communicatiesystemen, zoals telefooncentrales, radarsystemen en het systeem van communicatiesatellieten. Het woord systeem werd in deze betekenis het eerst gebruikt in de technische wetenschappen en dit begrip systeem leidde tot het ontstaan van een aparte tak van wetenschap, nl. de zgn. „system engineering". De grote vlucht die het gebruik van de term heeft genomen is een gevolg van de technologische ontwikkeling, met name die van de elektronische rekenmachine. Alhoewel deze machine zelf, als ook deze machine met zijn randapparatuur, als een systeem in de eerste betekenis kan worden beschouwd, is de opkomst van het gebruik van het woord systeem voornamelijk een gevolg van het gebruik dat men van de rekenmachine heeft gemaakt[1]).

De tweede betekenis van het begrip systeem zou men de *organisatorische* kunnen noemen. Organisatie wordt hier dan gebruikt in de betekenis die o.a. Simon en March eraan toekennen, nl. „organization structure consists simply of those aspects of the pattern of behavior in the organization that are relatively stable and that change only slowly"[2]). Uit het stabiele karakter vloeit voort dat het „gedrag" van de organisatie kan worden geanalyseerd door het vastleggen van de daarin uitgevoerde procedures. Deze omvatten enerzijds de wijze waarop de informatie wordt verwerkt, anderzijds de richtlijnen - met inbegrip van vuistregels - met behulp waarvan men beslissingen neemt. Door deze procedures is het mogelijk de organisatiestructuur een concreet karakter te geven. In deze concretisering ligt de overeenkomst tussen de beide tot nu toe genoemde begrippen. In de aard van het materiaal ligt het verschil. In het eerste geval bestaat dit uit aanwijsbare objecten, in het tweede wordt het concrete gezocht in het omschrijven van de procedures, d.w.z. wie, wat, hoeveel en op welke wijze men informatie moet verwerken. Vooral in het geval men deze informatieverwerking wenst te mechaniseren of te automatiseren pleegt men het daaraan voorafgaande organisatieonderzoek in Nederland aan te duiden met het woord systeemanalyse. Het ontwerpen van de blauwdruk voor een nieuwe organisatiestructuur noemt men in dit verband systeemontwerp. De beide besproken begrippen systeem zijn statisch van aard. De nadruk ligt op het beschrijvende element, d.w.z. het aangeven hoe een systeem

[1]) In het Nederlands gebruikt men wel de term systeemconfiguratie ter aanduiding van de rekenmachine en de mogelijke, of wenselijke, randapparatuur.

[2]) J. G. March en H. A. Simon: *Organizations*, New York 1958, p. 170.

is opgebouwd of hoe, rekening houdende met bepaalde wensen of uitgangspunten, een systeem zou moeten worden opgebouwd.

Het begrip systeem heeft in zijn derde betekenis een *abstract* karakter. Het is een afbeelding van de werkelijkheid, zoals die in beide hiervoor genoemde begrippen is vastgelegd. Het doel van deze afbeelding kan zijn, het vinden van een verklaring voor het functioneren van het systeem of het aangeven van middelen om dit functioneren te verbeteren. Men tracht dit doel te bereiken door het abstracte systeem een dynamisch karakter te geven. Hierdoor wordt het mogelijk vast te stellen hoe een systeem, in de tijd gezien, zich ontwikkelt. Dit aspect maakt het wezenlijke verschil uit tussen de eerste en tweede betekenis van het begrip systeem enerzijds en de derde anderzijds. Het onderscheid tussen het begrip systeem - in de tweede en de derde betekenis - kan het beste duidelijk worden gemaakt met behulp van het begrip organisatie. Ziet men de organisatie als een systeem van informatieverwerking voor het nemen van beslissingen en stelt men het nemen van die beslissingen centraal, dan moet er een relatie worden gelegd tussen beslissingen en de daarvoor noodzakelijke informatie. Tot zover is er geen verschil met de hiervoor genoemde procedures die de organisatiestructuur bepalen. Dit verschil treedt op zodra men de *status quo* van een bestaande of geprojecteerde organisatiestructuur verlaat en de vraag over welke informatie men moet beschikken om zo juist mogelijke beslissingen te nemen als uitgangspunt van het onderzoek neemt. Dit laatste met name omdat eenduidige antwoorden op de vragen die dan rijzen niet altijd kunnen worden gegeven. Deze vragen zijn van tweeërlei aard.

1 Men moet aangeven welke informatie noodzakelijk is voor het nemen van een bepaalde beslissing.
2 Men moet aangeven hoe die informatie moet worden verwerkt om die beslissing te kunnen nemen.

Indien men beide vragen op een eenduidige wijze kan beantwoorden, kan men spreken van *algoritmisch programmeerbare* beslissingen. Kan men één van beide of beide vragen niet op een dergelijke wijze beantwoorden, maar wel zodanig dat *een* beslissing kan worden genomen, dan zou men de beslissingen *heuristisch programmeerbaar* kunnen noemen. Kan men één van beide of beide vragen niet op de genoemde wijzen beantwoorden, dan zijn de daarmee verbonden beslissingen *niet programmeerbaar*[3]). Algoritmisch programmeerbare beslissingen zullen in de praktijk nauwelijks voorkomen. Algoritmische programma's heeft men voor bepaalde onderdelen - men denke in dit verband aan de lineaire programmering - wel bij de verwerking van de informatie, echter niet voor het geven van een antwoord op de vraag welke informatie noodzakelijk is voor het nemen van bepaalde beslissingen. De inhoud van de beslissingen zal zich wijzigen met de aard van de procedure die men volgt. Het staat geenszins vooraf vast welke procedures de beste uitkomsten zullen geven, dit laatste met name niet omdat de uitkomsten van verschillende procedures elkaar onderling beïnvloeden, terwijl de omstandigheden waaronder de procedures worden toegepast de resultaten van deze toepassing sterk beïnvloeden. Het is daarom van veel belang

[3]) H. A. Simon: *The New Science of Management Decision,* New York 1960, spreekt van „programmed" en „non programmed types of decisions". De eerste komt overeen met de hier gebruikte begrippen algoritmisch en heuristisch programmeerbaar.

de resultaten van verschillende verzamelingen van procedures in de tijd - d.w.z. bij wisselende omstandigheden - te volgen. Een dergelijk volgen is alleen mogelijk door middel van een abstract systeem. Het merendeel van de literatuur betreffende organisatie en systemen gaat uit van een interpretatie van dit laatste begrip dat gelijk is aan de tweede hier genoemde betekenis. Wel vindt men dikwijls verwijzingen naar de derde betekenis, zonder dat men daaraan echter de consequentie verbindt voor de methode van onderzoek, die aan deze derde interpretatie is gebonden. Immers het systeemontwerp komt veelal tot stand op grond van een analytisch of beschrijvend onderzoek. De vraag of alle overwegingen die men in ogenschouw neemt altijd relevant zijn, wanneer niet en wanneer wel en dan in welke mate, wordt doorgaans niet beantwoord. De omstandigheden waarbinnen het systeemontwerp goed kan functioneren worden vrijwel nooit gespecificeerd[4]). Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat men bij het analytisch onderzoek gebruik kan maken van methoden die zijn ontleend aan de onderzoekingen van abstracte systemen. Het zijn niet zo zeer de methoden die het verschil tussen het begrip systeem in de tweede en derde betekenis accentueren, alswel de wijze waarop men van deze methoden gebruik maakt. In het ene (tweede) geval in een statische - of één periode analyse - in het andere (derde) in een dynamische analyse[5]). In het eerste geval speelt het vinden van een evenwicht een centrale rol, in het tweede geval gaat het vooral om de stabiliteit[5]).

Men kan in de economie twee stromingen onderkennen die van het begrip abstract systeem gebruik hebben gemaakt. Men zou deze twee groepen, in analogie met het voorgaande, de technische en organisatorische groep kunnen noemen. De technische groep maakt gebruik van de in de „system engineering", zie de volgende paragraaf, ontwikkelde instrumenten ter bestudering van bepaalde systemen. Voorbeelden daarvan vindt men in de sociale economie, in de conjunctuurtheorie in het werk van Tustin, en in de bedrijfseconomie in het werk gestart door Forrester[6]). De organisatorische groep maakt van een veelheid van methoden gebruik, waarbij de elektronische rekenmachine - als instrument - recent een grote rol speelt. Dit neemt echter niet weg dat de grondgedachte van deze systeemaanpak in de economie in bepaalde gevallen decennia terug gaat, zoals het idee van Slutsky (1929) dat de conjunctuurbeweging een gevolg is van het met een bepaalde frequentie optreden van verstoringen in de economische data. Het blijkt in dat geval, zelfs bij het voorkomen van een relatief grote dempingsgraad, dat er regelmatige golfbewegingen kunnen ontstaan[7]). Een recente sociaal economische studie is die van Orcutt c.s. die, uitgaande van economische subjecten - gezinnen - daarmee het probleem van de aggregatie omzeilende, trachten de opbouw en samen-

---

[4]) Zie bijv. A. M. McDonough: *Information Economics and Management Systems*, New York 1963; S. Swaab: *Bedrijfssysteem en informatieverwerking*, Alphen aan de Rijn 1966; J. Dearden en F. W. McFairlan: *Management Information Systems*, Homewood 1966; T. R. Prince: *Information Systems for Management Planning and Control*, Homewood 1966. Tot deze literatuur moet ook worden gerekend het boek van A. D. Hall: *A Methodology for Systems Engineering*, New York 1962. Duidelijk blijkt uit dit boek dat het werkterrein van de „system engineering" in de loop van de tijd is uitgebreid van het technische tot het organisatorische terrein.

[5]) Voor een verdere uiteenzetting hierover, zie par. 4.

[6]) A. Tustin: *The Mechanism of Economic Systems*, London 1953; J. W. Forrester: *Industrial Dynamics*, New York 1961. Beide auteurs zijn elektrotechnici.

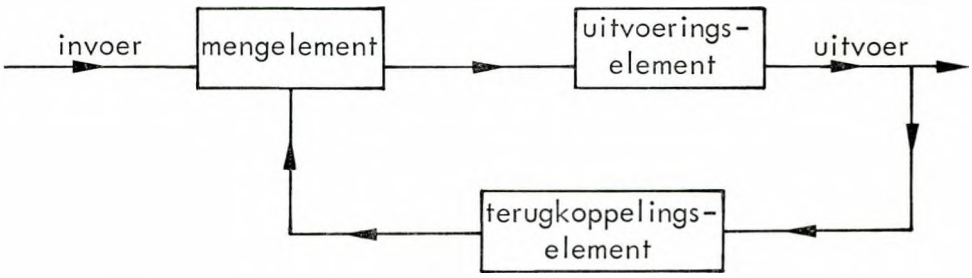
[7]) M. Kalecki: *Theory of Economic Dynamics*, London 1954.

stelling van de bevolking in de V.S. te simuleren[8]). De bekendste bedrijfseconomische studies in deze groep zijn die van Cyert en March en Bonini. Het betreft hier simulatiemodellen ter verklaring van „het gedrag" van de bedrijfshuishouding[9]).

Het kenmerkende van elk systeem is dat het is opgebouwd uit een aantal delen, meestal sub-systemen genoemd. Deze sub-systemen zijn onderling verbonden en vormen door deze verbindingen het systeem. Voor een adequaat abstract systeem is het noodzakelijk, zoals uit het voorgaande duidelijk zal zijn, dat de voorspellende waarde ervan groot is[10]). Dit betekent in economisch jargon dat een dergelijk systeem dynamisch van aard is en niet kan uitgaan van een stationaire toestand. Dit laatste betekent dat alle of een deel van de parameters in het systeem een stochastisch karakter zullen hebben. De dynamica in het systeem wordt ondermeer gerealiseerd door gebruik te maken van terugkoppeling.

3 *Het mechanisme van een systeem*

Een systeem is opgebouwd uit vier elementen, nl. de invoer (input), de uitvoering (process), de uitvoer (output) en de terugkoppeling (feedback). In figuur 1 is dit schematisch weergegeven.



figuur 1

Het gedrag van het systeem wordt bepaald door:

a. De parameters (attributes) van de grootheden (objects) die in de vier elementen zijn geplaatst;
b. de relaties (relationships) die er tussen de elementen bestaan.

Het gedrag van een systeem kan in overwegende mate worden bepaald door de invoer van buiten het systeem, men spreekt dan van een *open* systeem. In een *gesloten systeem* wordt het gedrag alleen bepaald door de parameters in het systeem[11]).

[8]) G. Orcutt, M. Greenberger, J. Korbel en A. M. Rivlin: *Micro-analysis of Socioeconomic Systems: A Simulation Study*, New York 1961.

[9]) C. A. Bonini: *Simulation of Information and Decision Systems in the Firm*, Englewood Cliffs 1963; R. M. Cyert en J. G. March: *A Behavioral Theory of the Firm*, Englewood Cliffs 1963.

[10]) Zie de par. 7 en 8.

[11]) Het criterium hier gebruikt voor het onderscheid open en gesloten is een andere dan die, welke doorgaans in dit verband wordt gebezigd. Men noemt een systeem meestal open „when it trades its materials or energies with the environment in a regular and understandable manner". S. L. Optner: *Systems Analysis for Business and Industrial Problem Solving*, Englewood Cliffs 1965. Dit onderscheid is t.a.v. organisatorische systemen weinig zinvol. Het hier gezegde sluit daarbij beter aan, zij het dat de kwalificatie „overwegend" ruimte laat voor een subjectieve interpretatie.

De invoer kan uit drie delen bestaan, die in het mengelement worden samengebracht. Dit zijn dan de invoer van buiten het systeem en de invoer vanuit het systeem zelf, onderscheiden naar de invoer van een ander sub-systeem en de invoer uit het eigen systeem d.m.v. de terugkoppeling. De in- en uitvoerrelaties tussen de sub-systemen kunnen parallel of in serie zijn. In het laatste geval is het mogelijk het tijdselement in het systeem te brengen. In het uitvoeringselement wordt de uitvoer vervaardigd. De werking ervan wordt bepaald door het doel dat men zich met het systeem heeft gesteld en de beperkingen die men eraan heeft opgelegd. De functie van de terugkoppeling is die van *besturing*. De invoer wordt gecorrigeerd zodra de uitvoer niet meer aan bepaalde normen blijkt te voldoen. Indien er meerdere oorzaken kunnen zijn die het verschil tussen uitvoer en norm bewerkstelligen, alsmede naar oorzaak verschillende maatregelen om dit te corrigeren, zal dit verschil eerst moeten worden geanalyseerd. Het spreekt voorts vanzelf dat de informatie die in en uit het systeem vloeit zodanig moet zijn geuniformeerd en gestandaardiseerd, dat de invoer ervan tot de juiste gevolgtrekking leidt. Dit laatste is vooral voor een systeem een gehele bedrijfshuishouding voorstellende, zeker indien men aan een geautomatiseerde vorm van informatieverwerking denkt, een op dit moment onmogelijke opgave[12]).

Er zijn verschillende methoden ontwikkeld om een systeem, in het bijzonder de relaties tussen enerzijds in- en uitvoer en anderzijds het uitvoerings- en terugkoppelingselement, in grafische vorm weer te geven. De drie hier te noemen methoden maken, op verschillende wijze, gebruik van de theorie der grafen[13]). De eerste twee zijn afkomstig van de technische groep. Men tracht ermee, al of niet met behulp van grafen, te komen tot een reduktie van het systeem om een oplossing voor de analytische weergave ervan te bereiken of de pogingen daartoe te vereenvoudigen. De laatste is een produkt van de organisatorische groep. De eerste methode is die van het *blokschema* (block diagram). In dit geval stellen de knooppunten van de graaf de blokken uit het diagram voor (zie figuur 1), waarin opgenomen de elementen uit het systeem. In deze knooppunten worden de stromen in de graaf, vloeiende door de pijlen, getransformeerd. Elk knooppunt stelt een van de andere knooppunten onafhankelijk element voor. Voor het vinden van een oplossing van de analytische weergave van het systeem is het niet noodzakelijk om ervan uit te gaan dat elk element een afzonderlijk knooppunt moet voorstellen. Men mag met behulp van bepaalde schakelingen knooppunten samenvoegen. Er zullen hier twee van dergelijke schakelingen worden besproken, nl. de cascadeschakeling en de teruggoppeling. Het schema in figuur 2 geeft een cascadeschakeling weer. Veronderstel dat b_1 en b_2 versterkers zijn en dat i en u respectievelijk de in- en uitvoer weergeven. In dat geval is u met i verbonden, zoals weergegeven in (1):

(1) $u = (b_1 . b_2)i$



figuur 2

12) Zie ook par. 8.

13) Een korte uiteenzetting over grafen met verwijzingen naar de literatuur vindt men in A. Bosman en K. Wezeman: „Netwerkplanningtechnieken I", *Maandblad voor Accountancy en Bedrijfshuishoudkunde*, jrg. 41 (1967), nr. 8.

De term tussen haken kan men in één blok - $(b_1 . b_2)$ - plaatsen. Bij de terugkoppeling - zie figuur 1 - kan men het systeem in dit geval door twee simultane vergelijkingen weergeven:

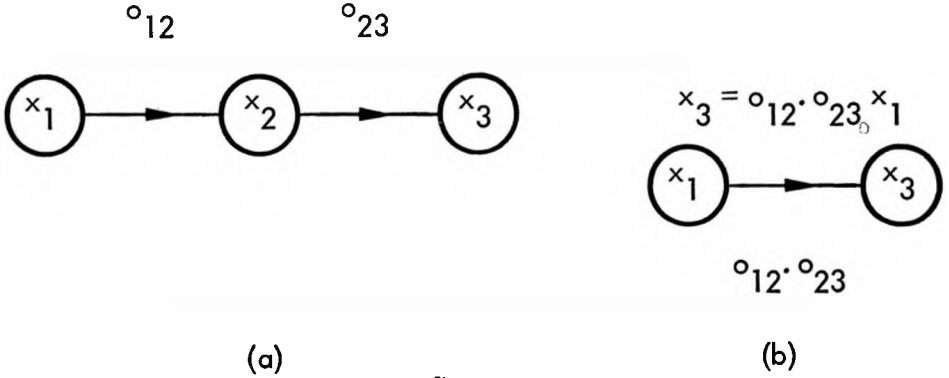
(2) $u = b_1 (i\text{-}A)$
(3) $A = \alpha . u$

waarin b_1 = de versterker in het uitvoeringselement,
$(i\text{-}A)$ = de uitvoer van het mengelement[14]),
α = de terugkoppelingsfactor.

De uitvoer als functie van de invoer kan, in het geval van lineaire elementen, worden geschreven als in (4).

(4) $$u = \frac{b_1}{1 + b_1 . \alpha} i$$

De tweede methode is die van de *signaalstroomdiagrammen* (signal flow graphs)[15]). Hier vindt de transformatie in de graaf plaats op de pijl, terwijl het knooppunt de getransformeerde stroom weergeeft. Deze benadering is als het ware de duale van de voorgaande. Elk knooppunt stelt een variabele voor, waarvan de waarde wordt verplaatst langs alle pijlen die dat knooppunt verlaten. De waarde van een variabele is de som van alle pijlen die een knooppunt binnenkomen. De waarde wordt gevonden door de waarden van de beginknooppunten te nemen van alle pijlen die naar een bepaald knooppunt toelopen en deze te vermenigvuldigen met de operatie op de pijl gedefinieerd. Met behulp van deze uitgangspunten heeft men een aantal regels opgesteld waarmee men tot een reduktie van de bij het systeem behorende graaf kan komen. Er zullen hier drie van deze regels worden genoemd. Deze drie zullen worden gebruikt om de bij figuur 1 behorende graaf te reduceren. Pijlen in serie - cascade - worden bij de signaalstroomdiagrammen als volgt - zie figuur 3 - weergegeven[16]).



figuur 3

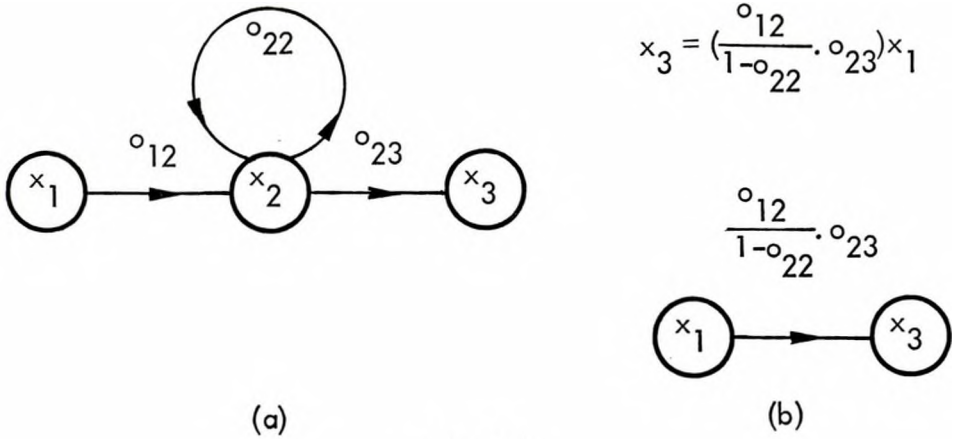
[14]) Men duidt de grootheid A wel aan met het symbool ε en de benaming foutsignaal (error signal), zie J. F. Schuh: *Algemene Theorie der Automaten*, Eindhoven 1963, p. 307.

[15]) De vertaling is ontleend aan W. Bakker: „Signaalstroomdiagrammen en Markov-ketens", *Statistica Neerlandica*, jrg. 18 (1964), nr. 2.

[16]) Achter de oorspronkelijke (figuur a) is steeds de gereduceerde graaf (figuur b) en de analytische weergave opgenomen.

De lus (self-loop) wordt als volgt - zie figuur 4 - gereduceerd.

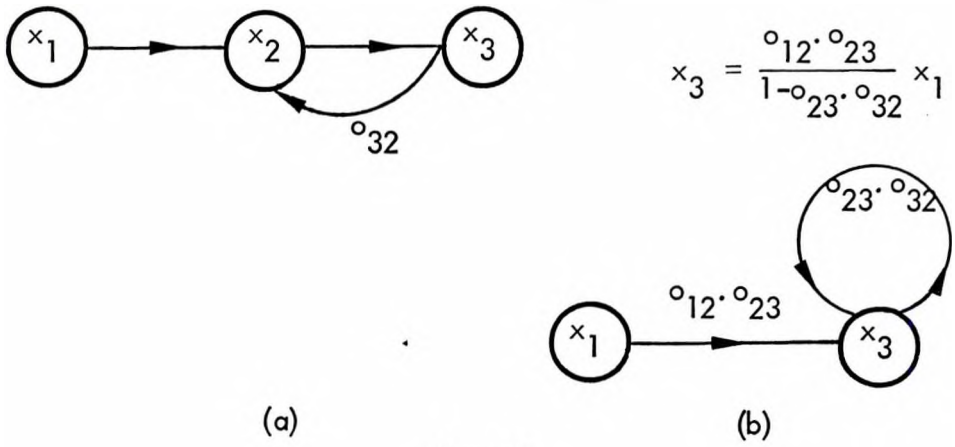
$$x_3 = o_{12} \cdot o_{23}\, x_1 + o_{22} \cdot o_{23}\, x_3$$



figuur 4

De reduktie van de terugkoppeling geschiedt als volgt (zie fig. 5).

$$o_{12} \qquad o_{23} \qquad x_3 = o_{12} \cdot o_{23}\, x_1 + o_{23} \cdot o_{32}\, x_3$$



figuur 5

Het signaalstroomdiagram van figuur 1 zou er uitzien als dat van figuur 5(a), waarin:

x_1 = de invoer,
x_2 = de invoer na correctie voor de terugkoppeling,
o_{23} = de versterker b_1, o_{12} = een versterker met de waarde 1,
o_{32} = de terugkoppelingsfactor,
x_3 = de uitvoer.

Een terugkoppeling wordt in twee stappen gereduceerd. De eerste stap is de omzetting van de terugkoppeling in een lus; de tweede stap is de reduktie van deze lus. Na de eerste stap zou het systeem er uitzien als in fig. 5(b), na de tweede stap als dat in fig. 4(b). De analytische uitdrukking wordt weergegeven door (5), die analoog is aan die van (4).

$$(5) \qquad x_3 = \frac{o_{12} \cdot o_{23}}{(1-o_{23} \cdot o_{32})} x_1 = \frac{b_1}{1 + \alpha b_1} x_1$$

Belangrijke verschillen bestaan er niet tussen de beide tot nu besproken methoden. Beide zijn methoden voor het grafisch weergeven en met de hulp daarvan oplossen van stelsels van simultane lineaire vergelijkingen. Welke methoden men moet toepassen hangt geheel af van het antwoord op de vraag met welke methoden men het beste of snelste een oplossing voor de analytische weergave kan vinden. Zo leent de methode van de signaalstroomdiagrammen zich in het algemeen het beste voor het verwerken van systemen met stochastische elementen. Soms is het door de gereduceerde vorm van het systeem mogelijk de eigenschappen ervan af te leiden uit de vergelijking die deze vorm beschrijft. Er moet echter op worden gewezen dat in het merendeel der gevallen door de aard van de mathematische analyse, Fourier en Laplace transformaties, vooral bij het voorkomen van niet lineaire elementen een dergelijke oplossing niet kan worden gevonden.

In de derde methode geeft de graaf een *netwerk* weer, zoals die wordt gebruikt bij de netwerkplanningtechnieken. De pijlen in het netwerk stellen nu grootheden, meestal activiteiten genoemd, voor. De grootheden zullen geval voor geval moeten worden gedefinieerd. De bekende toepassingen van de netwerkplanningtechnieken gaan uit van gerichte grafen zonder lussen of circuits, zoals ze daar worden genoemd. Hierdoor kan de terugkoppeling er niet in worden verwerkt[17]). Voor systemen waarin deze terugkoppeling geen of slechts een bescheiden rol speelt, zoals dit bij vele planningproblemen het geval is, kan deze derde methode met succes worden toegepast. Wil men de werkelijkheid van organisatorische systemen dicht benaderen, het uitgangspunt voor systeemtoepassingen, dan zal in het algemeen geen eenduidig bepaalde oplossing kunnen worden gevonden[18]).

4 *Model en systeem*

Zowel het model als het systeem, althans in de derde betekenis van dit begrip, waartoe de uiteenzetting in deze paragraaf zich verder zal beperken, zijn instrumenten voor de verklaring en de bestudering van de werkelijkheid. Dit betekent dat bij de samenstelling van een model of van een systeem subjectieve overwegingen, over het relevant zijn van de opgenomen variabelen, een rol zullen spelen.

[17]) Het ligt voor de hand dat men er naar streeft de technieken van de twee eerste methoden ook toe te passen op de derde. In dat geval spreekt men van algemene (generalized) netwerken, waarvan die uit de netwerkplanning een bijzonder geval zijn. Een van de eerste auteurs die hierop heeft gewezen is, H. Eisner: „A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project", *Operation Research,* Vol. 10 (1963) nr. 1. De aanpak van Eisner heeft recent een uitbreiding ondergaan in enkele artikelen van A. A. B. Pritsker en W. W. Heart: „GERT: Graphical Evaluation and Review Technique"; Part I, Development, *The Journal of Industrial Engineering,* Vol XVII (1966) nr. 5 en Part II, „Probabilistic and Industrial Engineering Applications", *The Journal of Industrial Engineering,* Vol. XVII (1966), nr. 6 en van S. E. Elmaghraby: „On Generalized Activity Networks", *The Journal of Industrial Engineering,* Vol. XVII (1966) nr. 11.

[18]) Een goede inleiding in de drie hier besproken methoden vindt men in, S. E. Elmaghraby: *The Design of Production Systems,* New York 1966, zie voor de beide eerste methoden voorts A. D. Hall, t.a.p.

Naast deze overeenkomst bestaan er belangrijke verschillen tussen een model en een systeem[19]). Het eerste verschil dat in dit verband moet worden genoemd is de mate van abstractie die in beide gevallen wordt gebruikt. Men spreekt in het algemeen eerst van een systeem indien de afbeelding van de werkelijkheid van dien aard is dat het „gedrag' ervan met een bepaalde mate van nauwkeurigheid kan worden voorspeld. Bij een model wordt deze eis niet gesteld. De klemtoon ligt daar op het consistente karakter van de in het model voorkomende relaties of op de mogelijkheid, voor de analytische weergave ervan, een oplossing te vinden. Beide eisen brengen dikwijls met zich mee dat modellen een zeer abstract karakter hebben, waardoor het vaak niet mogelijk is het gedrag van de werkelijkheid, die het model moet weergeven, met een acceptabele mate van nauwkeurigheid te voorspellen.

Een tweede punt van verschil schuilt in de wijze waarop men voor een model of een systeem een oplossing vindt. Het vinden van een oplossing voor een model is afhankelijk van de wijze waarop en de vorm waarin het is opgesteld. Men onderscheidt drie verschillende vormen, nl. de verbale, de grafische en de mathematische vorm. Het vinden van een oplossing voor modellen in de eerste vorm gegoten, is een vrijwel onmogelijke opgave. De grafische vorm van een model is als didaktisch hulpmiddel vaak bijzonder bruikbaar, als een instrument voor het vinden van een oplossing is het zeer beperkt. Dit laatste alleen reeds door het aantal variabelen dat er mee kan worden verwerkt. Daarnaast is het doorgaans niet meer dan een variant van de derde methode. De mathematische vorm biedt voor het vinden van oplossingen veel mogelijkheden, één van de grote voordelen van de toepassing ervan is, afgezien van de controle op de consistentie van de opgenomen relaties, dat één, geen of slechts een beperkt aantal oplossingen resulteren.

Bij de opbouw van een systeem maakt men dikwijls gebruik van de wiskunde, maar primair als een medium om de opgenomen relaties eenduidig te kunnen definiëren. Kan men dan met behulp van een der mathematische methoden een oplossing vinden dan bestaat er, methodologisch gezien, tussen een model en een systeem geen verschil. Lukt dit niet, of moet men voor het vinden van deze oplossing teveel abstraheren van de werkelijkheid, dan zal men een indruk van het gedrag van het systeem trachten te verkrijgen door middel van *simulatie*. Het is in het bijzonder de ontwikkeling van de elektronische rekenmachine die dit mogelijk heeft gemaakt, waarbij men niet mag vergeten dat deze machine ook de mogelijkheid voor het toepassen van mathematische methodieken aanzienlijk heeft vergroot. De simulatie, met behulp van abstracte systemen, kan men beschouwen als een vierde instrument om de oplossing voor een probleem te vinden.

Het derde en tevens één van de belangrijkste verschillen tussen model en systeem is het zelf-regulerende (adaptive; self-organizing) karakter van de laatste, een eigenschap die modellen niet kennen. Dit zelf-reguleren komt tot uitdrukking in veranderingen in de waarde der parameters of in veranderingen in de vorm van de relaties of in beide. Deze veranderingen zijn aanpassingen die door het systeem worden aangebracht. Dit kan op twee manieren geschieden[20]). De eerste zou men

[19]) Op de daaruit voortvloeiende verschillen in methode wordt nader ingegaan in het volgende artikel.

[20]) M. D. Mesarović: „On Self Organizational Systems", *Self-Organizing Systems 1962*, eds. M. C. Yovits, G. T. Jacobi en G. D. Goldstein, Washington 1962.

de *causale* aanpassing kunnen noemen. De veranderingen worden hier geïntroduceerd via de invoer. Het systeem is zodanig opgebouwd dat het op veranderingen van de invoer kan reageren. Terugkoppelingssystemen zijn hiervan een duidelijk voorbeeld. Het grootste bezwaar van deze systemen is dat zij slechts met succes kunnen werken in een omgeving waar de via de invoer optredende storingen nauwkeurig kunnen worden omschreven en onderkend. De veranderingen die in dit geval worden aangebracht zullen voornamelijk betrekking hebben op wijzigingen van de parameters. Deze veranderingen worden geïntroduceerd door ondermeer het optreden van te grote afwijkingen tussen norm en realiteit, d.w.z. in dit geval tussen uitvoer en de norm in het terugkoppelingselement. De tweede is de *teleologische* aanpassing, waarin de veranderingen worden aangebracht bij de pogingen om een bepaald doel sneller of nauwkeuriger te bereiken[21]). Het grote voordeel van deze aanpassing is dat vooraf niet alle mogelijke storingen in de invoer behoeven te worden gedefiniëerd. Vastgesteld moet nu worden wat het doel is dat het systeem moet bereiken, welke wegen daartoe openstaan en onder welke omstandigheden een bepaalde weg moet worden gekozen. Het „enige" wat ten aanzien van de invoer van het systeem is vereist, is dat dit kan worden herleid in omstandigheden. Alle programma's voor rekenmachines waarin leerelementen zijn opgenomen behoren tot deze tweede groep, evenals het merendeel van de heuristische programma's[22]). Nu zullen de veranderingen betrekking hebben op wijzigingen van parameters of relaties om de zoekprocedure efficiënter te laten verlopen. De veranderingen kunnen worden geïnduceerd door het systematisch bijhouden van in het verleden bereikte resultaten en de oorzaken daarvan, het zgn. leren.

Ook in het organisatorische vlak komt men deze onderscheiding tegen. Men kan nl. het nemen van een beslissing, betreffende de keuze van een alternatief, beschouwen als het zoeken van een pad in een graaf[23]). Men kan voor de oplossing van dit soort problemen twee methoden onderscheiden.

1 De eerste komt overeen met de causale aanpassing. Men begint in een begintoestand en tracht een eindtoestand te bereiken (working forward). Hiervoor zijn weer twee mogelijkheden. Men kan de gehele boom van toestanden genereren en dan het beste pad kiezen. Dit leidt echter, bij enigszins complexe problemen, tot bomen van enorme omvang, zodat een optimale oplossing, uitgaande van alle mogelijkheden, niet meer kan worden gevonden. Men gebruikt dan meestal een zgn. evaluatiefunctie, met behulp waarvan men kenmerken van toestanden kan waarderen. Vergelijkbare toestanden worden vergeleken en de beste wordt dan gekozen.

---

[21]) Dit laatste uiteraard alleen als het model niet eenduidig is omschreven, maar in de omschrijving ervan „slechts" een aantal voorwaarden wordt genoemd waaraan moet worden voldaan.

[22]) A. Bosman: „Heuristische programmering - een recente ontwikkeling op het gebied van de simulatie", *Maandblad voor Accountancy en Bedrijfshuishoudkunde*, jrg. 39 (1961), nr. 2 en 3.

[23]) Deze gerichte graaf is in dit geval een boom (tree). Deze boom kan men construeren zodra de keuze van het alternatief plaats heeft in een aantal stappen, waarbij men bij elke stap weer de keuze heeft uit een aantal mogelijkheden, de zgn. takken van de boom. Bij elke stap bevindt het systeem zich in een bepaalde toestand (state). De verzameling van alle mogelijke toestanden moet op de daarin opgenomen alternatieven worden onderzocht. Een alternatief bestaat in dit geval uit een pad van begin- naar eindtoestand. De verzameling van paden is de verzameling van alternatieven.

2 De tweede komt overeen met de teleologische aanpassing. Men begint in de eindtoestand en werkt terug naar de begintoestand (working backward). Het pad wordt nu gevonden door na te gaan aan welke voorwaarden een knooppunt moet voldoen wil de *gewenste* eindtoestand worden bereikt. Het zoekproces wordt op deze wijze aanzienlijk beperkt. Alle knooppunten die niet aan de gestelde voorwaarden voldoen, worden buiten beschouwing gelaten. Het is mogelijk dat men op deze wijze geen enkel pad of vele paden vindt. In het eerste geval zijn de voorwaarden te selectief, in het tweede geval zijn ze te ruim gesteld[24]).

Een vierde verschilpunt tussen model en systeem is de wijze waarop de dynamica in beide gevallen wordt verwerkt. In de economie spreekt men van een dynamische analyse indien de variabelen, opgenomen in de relaties van deze analyse, in verschillende perioden zijn gedateerd. De econometrische verwerking daarvan kan, in navolging van Cohen en Cyert, worden aangeduid als een *één periode* (one period change) *verwerking*[25]). Als uitvoer van een econometrisch model kan worden gezien de voorspelling van de waarde van een endogene variabele in een bepaalde periode (t). Voor deze voorspelling worden de waarden van alle vertraagde endogene variabelen in feite als waarden van exogene variabelen beschouwd. Moet men een nieuwe voorspelling maken van de endogene variabelen in de periode (t + 1) dan wordt als invoer gebruikt de laatste - en t.o.v. de voorspelling in periode t herziene - waarden van de vertraagde endogene en exogene variabelen. De econometrische modellen verklaren derhalve de verandering in de endogene variabele, die optreden bij de overgang van de ene periode naar de andere. Een systeem heeft als invoer alleen de waarden van de exogene variabelen, de waarde van de vertraagde endogene variabelen worden door het systeem zelf bepaald; men neemt daarvoor derhalve niet de in de werkelijkheid waargenomen waarden, met uitzondering van die welke als beginwaarden worden gebruikt. Dit betekent dat voor het testen van de voorspellende waarde van een systeem niet de afzonderlijke waarden relevant zijn, maar de tijdreeks die deze waarden vormen. Van veel belang is het in dit verband of deze reeksen al of niet stabiel zijn. Het probleem van de stabiliteit neemt in de systeemanalyse de rol die de evenwichtsgedachte in de sociale economie speelt over[26]). De analytische oplossing van bijv. de in de vorige paragraaf genoemde eerste twee methoden geeft, zoals Bouma terecht opmerkt, de toestand van een hersteld evenwicht weer, uitgaande van een bepaalde verstoring de overige omstandigheden constant gehouden,

---

[24]) J. Feldman en H. Kanter: *Organization Decision-Making*, rapport SP - 1357 System Development Corporation, Santa Monica 1963. Het door Simon, Newell en Shaw ontwikkelde programma, General Problem Solver, is een variant van deze methode, zie A. Bosman, t.a.p.

[25]) K. J. Cohen en R. M. Cyert: „Computer Models in Dynamic Economics", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. LXXV (1961), nr. 2.

[26]) Een uiteenzetting over de stabiliteit valt buiten het kader van dit artikel. Neemt men als definitie voor een stabiel systeem dat de fluctuaties in de uitvoer kleiner zullen zijn dan die in de invoer, dan is er in het algemeen van een stabiel systeem sprake indien $b_1 \alpha$ uit (4) in par. 3 voldoet aan $-1 < b_1 \alpha < 0$. Indien $b_1 \alpha = -1$ oscilleert het systeem, indien $b_1 \alpha < -1$ is het systeem instabiel. Daarnaast echter wordt de stabiliteit beïnvloed door de tijdsfactor, in het bijzonder de tijdsduur noodzakelijk om de informatie over de uitvoer, via de terugkoppeling, in het mengelement te brengen.

terwijl de uitkomst van de simulatie een proces van aanpassing aan gewijzigde omstandigheden - zie het derde verschilpunt - laat zien[27]).

5 *Systeemtoepassingen*[28])

Toepassing van het begrip systeem, met name die in de tweede betekenis, vindt men vooral op het gebied van de informatieverwerking, zowel in de militaire sfeer als in de ondernemingen. De eerste heeft, door de ervan uitgaande invloed op de technische ontwikkeling veelal een stimulerende werking op de toepassingen in de tweede. In beide toepassingsgebieden worden de systemen gekenmerkt door het mens-machine (man-machine) karakter ervan. Dit is een uitvloeisel van het feit dat volledig geautomatiseerde systemen van enige omvang op dit moment niet operationeel zijn. Dit is een gevolg van de beperkingen van ieder der componenten in het mens-machine systeem. Alhoewel de mens beschikt over een enorme geheugencapaciteit is deze moeilijk toegankelijk, terwijl de wijze waarop het geheugen wordt gebruikt, bijv. voor het uitvoeren van rekenkundige of logische opdrachten, de toepassing ervan nog meer beperkt. Bij de opbouw van mens-machine systemen zal men bij de keuze van de component die een bepaalde taak moet uitvoeren in eerste instantie worden geleid door de overweging op welke punten, t.a.v. de uitvoering van die taak, de ene component verre de andere overtreft. Kan deze vraag voor een bepaalde taak niet worden beantwoord, dan zal het voornamelijk van allerlei organisatorische overwegingen afhangen aan welke component de taak wordt toegewezen. Voor een groot aantal taken kan echter zonder meer een uitspraak worden gedaan over de component die men daarvoor bij voorkeur zal inschakelen. Voor de machine zijn dit:

a. Het uitvoeren van berekeningen en logische operaties.
b. Het halen, opbergen en via de randapparatuur bewaren van grote hoeveelheden gegevens.
c. Het verwerken van deze gegevens.

Voor de mens zijn dit:

1 Het onderkennen van de soort informatie (pattern recognition).
2 Het formuleren van doelstellingen en wegen om deze te bereiken.
3 Het onderkennen en verwerken van uitzonderingen.

De elektronische rekenmachine kan drie functies vervullen, n.l. berekenen, bewaren en besturen. Voor de vervulling van deze functies moeten de programma's in de machine bepaalde handelingen verrichten, n.l. data verplaatsen, data reduceren en data genereren. Hiervoor kunnen verschillende systemen worden ontworpen, die men als volgt in tabel I zou kunnen onderverdelen.

---

[27]) J. L. Bouma: „Het bedrijfsspel als een vorm van simulatie en zijn mogelijke betekenis voor het onderzoek naar de gedragingen van complexe organisaties", *Maandblad voor Accountancy en Bedrijfshuishoudkunde*, jrg. 39, (1965), nr. 2/3.

[28]) Een goede uiteenzetting over systeemtoepassingen en ontwikkelingen vindt men in, A. Vazsonyi: „Automated Information Systems in Planning, Control and Command", *Management Science*, Vol. 11 (1965), nr. 4.

		systeem	
		on-line	off-line
real-time systeem	ja	A	B
	neen	X	C

Tabel I

On-line systemen zijn systemen waarbij men direct met de rekenmachine en zijn randapparatuur is verbonden[29]). Real-time systemen zijn systemen waarin men binnen een bepaalde tijd - uiteraard een zeer korte tijd, bijv. minder dan 1 minuut - een antwoord kan krijgen op een vraag. On-line real-time systemen komen in de praktijk nog weinig voor, maar alle tekenen wijzen erop dat dit in de nabije

Tabel II

	berekenen	*bewaren*	*besturen*
data transmissie	vervaardigen administratieve produkten zoals nota's, facturen, het bijwerken van de dagboeken etc.	ponskaarten (C) magneetbanden (C) snel toegankelijke geheugens (random access) (A en B)	
data reductie	1) overzichten op financiëel-administratief terrein (administratieve informatieverwerking)	(A, B, en C)	
	2) informatieveredeling voor de beslissingsvoorbereiding, toepassing statistische en operationeel onderzoek technieken	(A, B, en C)	vraagvoorspelling t.b.v. de besturing van voorraadsystemen, produktieregulering (C)
data genereren	simuleren	(A, B, en C)	simuleren

[29]) Off- en on-line is hier gedefinieerd t.a.v. de invoer. Eenzelfde definitie kan men ook hanteren voor de verbinding tussen de rekenmachine en het externe geheugen, als magneetbanden, schijven- en trommelgeheugens. Het zal duidelijk zijn dat in dit geval een extern geheugen in de vorm van ponskaarten altijd off-line is.

toekomst waarschijnlijk snel zal veranderen. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is dat van de plaatsreservering van luchtvaartmaatschappijen. De meeste van de huidige toepassingen zullen liggen in vak c.

In tabel II is aangegeven welke toepassingen, uitgaande van de genoemde drie functies, in de onderneming kunnen worden gerealiseerd indien men kijkt naar de daarvoor noodzakelijke handelingen in de programma's. Voorts is vermeld welke systemen uit tabel I men daarvoor zou moeten of kunnen gebruiken[30]). Uit tabel II blijkt dat de functie van besturing maar in twee gevallen wordt genoemd, waar bij komt dat deze nog maar in een zeer beperkt aantal gevallen wordt toegepast. Een grotere toepassing van deze functie kan alleen worden bereikt indien men in staat is programma's te maken die een veel verdergaande data reductie, met name via de informatieveredeling, dan nu wordt bereikt, bewerkstelligen. Zou men hierin slagen, hetgeen voorhands moet worden betwijfeld, dan zal de bewaarfunctie van elektronische systemen aan betekenis afnemen. Immers in dat geval heeft het bewaren van informatie voor het nemen van beslissingen weinig of geen betekenis meer[31]). Het kan uiteraard gewenst zijn informatie te bewaren om juridische of administratieve redenen. Hierbij moet echter worden aangetekend dat mag worden verwacht dat in de nabije toekomst andere eisen aan de administratieve organisatie zullen worden gesteld dan nu doorgaans gelden. Het systeem van dubbel boekhouden, ontstaan als een medium voor controle in met de hand gevoerde administraties, kan in een geautomatiseerde administratie wel eens ingrijpend worden gewijzigd. In on-line real-time systemen, waarin de besturing is geautomatiseerd, zal de simulatie een belangrijke rol moeten spelen. Immers dergelijke systemen zullen op hun mogelijk „gedrag" vooraf uitgebreid moeten worden getoetst[32]). In dat geval is er echter reeds sprake van een sterk geautomatiseerd systeem, zoals men dat nu bijv. aantreft bij de besturing van raketten. In de mens-machine systemen zal de mens bij de besturing een centrale rol blijven spelen. Dit zal vooral bij de ondernemingsbesturing nog lang het geval zijn, met name omdat alle mogelijk verstoringen in de exogene variabelen niet vooraf kunnen worden onderkend en in het programma kunnen worden verwerkt.

Dit betekent dat het bewaren in het kader van de informatieverwerking een zelfstandige rol blijft vervullen. Hoe dit bewaren geschiedt, d.w.z. via on- of off-line systemen, is een vraag waarvan het antwoord afhangt van factoren die met de functie van het bewaren niets uitstaande hebben. De real-time systemen zullen bij het toenemen van de toepassing van de rekenmachine een steeds belangrijke rol gaan spelen, omdat de mens om zijn besturingsfunctie te kunnen handhaven snel over informatie moet kunnen beschikken. Ook in deze gevallen echter zal de simulatie reeds een essentieel onderdeel van het systeemonderzoek kunnen gaan uitmaken. Dit laatste alleen reeds omdat het een noodzakelijk instrument zal zijn voor de pogingen een verdergaande automatisering - via de besturing - te realiseren.

---

[30]) In de kolom bewaren zijn geplaatst de mogelijkheden die behoren bij de toepassingen in de kolom berekenen of besturen.

[31]) Een verdere uiteenzetting over de problemen rond de automatisering van de besturing vindt men in par. 9.

[32]) Zie, voor een bespreking van de situaties en problemen die zich kunnen voordoen bij de in tabel II geschetste mogelijkheden, D. N. Chorafas: *Control Systems and Programming Approaches, Volume A: Theory*, New York 1966.