

HET EKONOMISCH NUT VAN NAUWKEURIGE INFORMATIE: SIMULATIE VAN ONDERNEMINGSBESLISSINGEN EN INFORMATIE

door Dr. J. P. C. Kleijnen

1 Inleiding

Het onderzoek waarover in dit artikel wordt gerapporteerd dient geplaatst te worden in het volgende kader: Het *kwantificeren* van de *waarde van informatie* bij het nemen van beslissingen in de onderneming. Elders hebben wij uiteengezet waarom de behoefte aan een dergelijke kwantificering is gegroeid, en welke benaderingswijzen er bestaan; zie Kleijnen (1975b). (De wenselijkheid van kwantificering wordt ook onderstreept in een recent artikel van Verrijn Stuart (1975).) Hier concentreren wij ons op één benaderingswijze, namelijk *simulatie*. Met andere woorden, wij ontwerpen een mathematisch model van een onderneming en van de omgeving (de markt) waarin zij opereert. De beslissingen die de onderneming neemt, kunnen wij of modelleren of door menselijke „spelers” laten nemen. In het laatste geval spreken wij van een bedrijfsspel. In ons onderzoek gebruiken wij als startpunt een bekend IBM bedrijfsspel; zie paragraaf 2 en IBM (1963). Om praktische en wetenschappelijke redenen besloten wij echter de beslissingen in deze gesimuleerde ondernemingswereld niet door mensen te laten nemen maar door een nieuw ontwikkeld computerprogramma; zie paragraaf 3. Ondernemingsbeslissingen zijn gebaseerd op informatie, zowel interne als externe informatie. De resultaten van de beslissingen hangen af van (1) de beslissingsregels, (2) de wereld (= onderneming + markt) waarin de „outputs” (= beslissingen) van die beslissingsregels worden ingevoerd, en (3) de kwaliteit van de informatie die als „input” van de beslissingsregels optreedt. Terwijl „operations research” zich vooral bezig houdt met het vinden van goede beslissingsregels houdt de informatika zich bezig met de informatie die als invoer kan optreden. De *kwaliteit* van de informatie kan variëren. Elders hebben wij de diverse aspecten van informatie (zoals leeftijd, nauwkeurigheid, enz.) besproken; zie Kleijnen (1975b). In dit artikel concentreren wij ons op één aspect, namelijk de *nauwkeurigheid*. Wij bestuderen het effect dat de akkuratesses van informatie heeft op de economische prestaties (winst, marktaandeel, enz.) van de onderneming die op de markt konkurreert met andere ondernemingen.

De opbouw van dit artikel is als volgt. In paragraaf 2 bespreken wij het IBM bedrijfsspel, d.w.z. het dynamisch simulatiemodel, de strategische en tactische beslissingen en de (onvolledige) informatie t.b.v. die beslissingen.

In paragraaf 3 behandelen wij het computerprogramma dat de beslissingen in dit bedrijfsspel neemt. Deze geautomatiseerde speler, SPELER geheten, gebruikt heuristische regels i.p.v. optimaliseringsalgorithmen, met als doel het handhaven van het rendement en het marktaandeel van de onderneming. Ten illustratie wordt vrij uitvoerig de beslissingsregel voor het produktiebudget behandeld. De rol van de data base wordt tevens belicht.

In paragraaf 4 presenteren wij een experiment met onnauwkeurige pro-

duktiekosten-informatie. Gespecificeerd wordt het model voor deze onnauwkeurigheid, de proefopzet van het experiment, de te meten variabelen, enz. Het tijdpad van het totaal vermogen blijkt te kunnen worden gekarakteriseerd door een lineaire trend; rendement en marktaandeel door hun gemiddelden. Vervolgens wordt een lineair model gepostuleerd voor het effect van de onnauwkeurigheid op het tijdpad. Deze lineariteit wordt getoetst en goed bevonden. Het (lineaire) effect van onnauwkeurigheid wordt statistisch significant gevonden. Het experiment wordt herhaald voor ongunstige startkondities.

In paragraaf 5 wordt een soortgelijk experiment uitgevoerd voor de informatie betreffende de omzetcijfers. Opnieuw wordt een significant, lineair effect gevonden.

In paragraaf 6 vatten wij zeer kort onze experimenten samen en bespreken toekomstig onderzoek.

2 Het IBM bedrijfsspel: model, beslissingen, en informatie

In deze paragraaf geven wij een beknopte karakteristiek van het bedrijfsspel „IBM Management Decision-Making Laboratory”. Voor een volledige beschrijving verwijzen wij naar IBM (1963); een uitvoerige samenvatting staat ook in bijv. Naylor et al. (1966). Tevens merken wij op dat de Nationale Management Kompetitie in Nederland en België gebaseerd is op een soortgelijk spel als dit IBM bedrijfsspel. Het feit dat het IBM spel vele jaren lang door talrijke personen is gespeeld, is een indicatie dat het een simulatiemodel is dat door velen als niet te onrealistisch wordt beschouwd. Daarmee is in zekere zin het model al gevalideerd.

Het bedrijfsspel is een model van een hypothetische, oligopolistische bedrijfstak waarin 3 ondernemingen met elkaar concurreren. Bij de start van de competitie heeft elk van de 3 bedrijven gelijke middelen (voorraad, produktiekapaciteit, kas). Per kwartaal moet de directie een aantal *strategisch-tactische beslissingen* nemen op produktie- en commercieel gebied. Het bedrijfsspel berekent de konsekventies van de beslissingen, gebruik makend van zijn model. Deze resultaten bepalen de toestand bij het begin van het volgende kwartaal waarin weer beslissingen moeten worden genomen, enz. Merk op dat de resultaten niet alleen afhangen van eigen beslissingen maar tevens van de beslissingen van de concurrenten (en exogene variabelen zoals de gevoeligheid van de markt).

De *markt* waarop de 3 ondernemingen concurreren valt uiteen in 4 geografische segmenten. Elke onderneming heeft zijn thuismarkt waar de transportkosten minimaal zijn. Daarnaast is er een open markt waarvoor hogere transportkosten gelden. De transportkosten naar de thuismarkt van een concurrent, zijn het hoogste.

De volgende *beslissingen* moeten worden genomen (alle beslissingen zijn in geldeenheden):

1 *Prijzen* van het produkt voor elk van de 4 marktsegmenten.

- 2 *Marketing*-bedrag per marktsegment.
- 3 *Kapaciteitsuitbreiding*: Op het produktieapparaat moet per kwartaal 2% worden afgeschreven. Deze depreciatie kan worden (over)gecompenseerd door uitbreidingen. Er is een tijdsvertraging: Het bedrag dat aan het begin van een kwartaal wordt uitgetrokken, zal pas bij het begin van het volgende kwartaal de fysieke produktiecapaciteit hebben vergroot.
- 4 *Produktiebudget*: Hoeveel bij een gegeven budget kan worden geproduceerd, hangt af van de kosten per eenheid. Deze kostprijs daalt bij toenemende bezetting van de capaciteit i.v.m. de vaste kosten.
- 5 *Onderzoek en ontwikkeling (R&D)*: Deze uitgaven worden gesteld de kostprijs te verlagen en het marktpotentieel te verhogen.
Een (onrealistische) spelregel stipuleert dat de onderneming in een kwartaal niet meer mag uitgeven dan aan kasmiddelen beschikbaar is bij het begin van het kwartaal.

De *informatie* waarop bovenstaande beslissingen moeten worden gebaseerd, bestaat uit vertrouwelijke informatie alleen bekend binnen de eigen onderneming, en gepubliceerde informatie bekend aan alle ondernemingen. Laatstgenoemde informatie omvat een niet-gedetailleerde balans en een globaal marktoverzicht. De vertrouwelijke, interne informatie omvat een gedetailleerde balans en verlies- en winstrekening, cash-flow overzicht, marktoverzicht, en produktierapport (kostprijs e.d.). Naarmate meer kwartalen zijn gespeeld, zal de hoeveelheid informatie toenemen (de „data base” groeit).

Het bedrijfsspel is *dynamisch*, d.w.z. het resultaat in een bepaald kwartaal hangt af van beslissingen en resultaten van vorige kwartalen (naast beslissingen voor het lopend kwartaal). Bijvoorbeeld, marketing en R & D hebben een effect gedurende meerdere kwartalen; te grote produktie leidt tot voorraad die in volgende kwartalen kan worden verkocht; enz. Het model is redelijk *gekompliseerd*. Bijvoorbeeld, de kostprijs hangt af van de capaciteit, de bezetting en R & D. Bovendien is het een spel met „*imperfect knowledge*” want de deelnemers kennen niet de exakte structuur en parameterwaarden van de markt, de konkurrenten, en het eigen bedrijf. Bijvoorbeeld, de kostenfunctie is niet exact bekend. Wel kent de speler (de menselijke speler of de geautomatiseerde speler) bepaalde *kwalitatieve*, economische wetmatigheden. Bijvoorbeeld, de kostprijs daalt bij toenemende bezetting en R & D; bovendien geeft het produktierapport de kostprijs aan bij enige alternatieve bezettingsgraden. Wij verwijzen naar de referenties voor de exakte vorm van het model dat bestaat uit 15 reaktievergelijkingen plus 18 boekhoudkundige vergelijkingen, 37 variabelen en meer dan 30 parameters; zie Naylor et al. (1966, p. 209-213).

3 Een geprogrammeerde speler

Zoals wij al eerder opmerkten, besloten wij de echte, menselijke spelers te vervangen door geprogrammeerde spelers, d.w.z. een computerprogramma

dat wij zullen aanduiden met de naam SPELER. Zo'n programma zou voor de volgende doeleinden kunnen dienen:

- (1) Elimineren van menselijke spelers. Echte spelers geven de simulatie meer realiteitsgehalte maar verminderen de controle over het experiment. Bijvoorbeeld, een bepaalde speler kan slechtere resultaten boeken ondanks betere informatie doordat hij minder „feeling” heeft, er geen zin in heeft, enz. Bovendien kent het gebruik van menselijke spelers allerlei praktische problemen (het vinden van spelers, lange executietijd, enz.).
- (2) Kreëren van een controle-speler met wie de menselijke spelers kunnen concurreren; zie Wolf (1972).
- (3) Kreëren van een heuristische techniek die menselijke spelers helpt bij het voorbereiden van hun beslissingen in het bedrijfsspel. Wij verwijzen ook naar Fisher (1971, p. 286-287) voor een discussie, van moderne bedrijfsspelen gebruik makend, van operations research en moderne computer-technologie.

De geprogrammeerde speler heeft dezelfde *informatie* als menselijke spelers zouden hebben, d.w.z. vertrouwelijke, interne naast gepubliceerde, externe rapporten. Hij kent niet de structuur en parameterwaarden van het model (zulks in tegenstelling tot bedrijfsspelen waarmee Mock (1973) heeft geëxperimenteerd). Wel kent hij kwalitatieve, economische wetten, bijv. de afzet daalt als de prijs stijgt (*ceteris paribus*). Gebaseerd op deze economische „common sense” probeert de SPELER zijn doeleinden te realiseren. Daartoe gebruikt hij eenvoudige, *heuristische* regels, dus geen ingewikkelde, operations research algorithmen. Zelfs indien de structuur bekend zou zijn, zouden optimale beslissingsregels niet kunnen worden afgeleid aangezien het model daarvoor te ingewikkeld is, zulks in tegenstelling tot het model van Wolf (1972). De *doelvariabelen* van de SPELER zijn:

- (1) *Rendement* over het geïnvesteerd vermogen, d.w.z. winst gedeeld door totale aktiva (= kas + voorraad + capaciteit in ons eenvoudig model).
- (2) *Marktaandeel*, d.w.z. eigen verkopen gedeeld door totale verkopen (in geld).

Het doel van de speler is deze 2 variabelen niet te laten dalen over de loop der tijd. Volgens diverse bedrijfseconomische publikaties zijn dit zeer realistische doelstellingen; zie ook Schoeffler et al. (1974). In de vorige paragraaf hebben wij de diverse beslissingsvariabelen (prijzen, marketing, enz.) reeds opgesomd, benevens de kasmiddelen-restriktie. Thans zullen wij de beslissingsregels bespreken die wij voor de SPELER gekozen hebben. Wij beginnen met een vrij uitvoerige behandeling van de beslissingsregel voor het vaststellen van het productiebudget aangezien deze rechtstreeks betrekking heeft op informatie waarvan wij de kwaliteit in ons experiment zullen variëren.

Voor het komende kwartaal wil de speler genoeg produceren om tesamen met de beginvoorraad de gemiddelde, verwachte orders plus een veiligheidsmarge te kunnen dekken. Immers de werkelijke orders in het komend kwartaal zijn nog onbekend maar zullen normaliter afwijken van de voorspelde, verwachte orders. (Orders worden voorspeld via „exponential smoothing”;

zie verderop.) Indien de werkelijke orders groter zijn dan de verwachte orders dan kunnen orders verloren gaan („neenverkoop”). Andersom zal produktie aan de voorraad worden toegevoegd. In het eerste geval gaan winst en verkopen verloren zodat beide doelvariabelen rechtstreeks nadelig beïnvloed worden. In het tweede geval vermindert het rendement doordat het geïnvesteerd vermogen (i.c. voorraden) stijgt; in een volgend kwartaal kan die voorraad echter weer worden bijgestuurd. Het eerste geval heeft dus ernstiger konsekwenties. Daarom wordt boven de verwachte verkopen een veiligheidsmarge aangehouden, die wij *veiligheidsvoorraad* noemen. M.a.w.

$$(3.1) \quad \begin{aligned} \text{Produktie}_{\tau+1} + \text{Voorraad}_t &= \\ &= \text{Verwachte verkopen}_{\tau+1} + \text{Veiligheidsvoorraad}_{\tau+1} \end{aligned}$$

waarbij $\tau + 1$ slaat op de komende periode (kwartaal) en t op het huidige tijdstip. In (3.1) is Voorraad bekend uit de balans, d.w.z. de data base. Verwachte verkopen worden voorspeld op basis van de verkopen in alle vorige perioden, via exponential smoothing. Veiligheidsvoorraad wordt gebaseerd op de voorspelfouten in het verleden zoals in voorraadbeheer gebruikelijk is:

$$(3.2) \quad \text{Veiligheidsvoorraad}_{\tau+1} = k \cdot \hat{\sigma}_{\tau+1}$$

waarbij voor $k = 2$ is gekozen (d.w.z. 97,7% van alle perioden mogen geen neenverkoppen tonen) en $\hat{\sigma}_{\tau+1}$ is de voorspelfout (= werkelijke verkopen – voorspelde verkopen) die zelf via exponential smoothing ook weer wordt voorspeld. De produktie die uit (3.1) volgt, kan echter tot ernstige *onderbezetting* leiden met de daarbij horende hoge kostprijs. Daarom voeren wij de volgende nevenvoorwaarde in:

$$(3.3) \quad 0.50 \text{ Kapaciteit}_{\tau+1} \leq \text{Produktie}_{\tau+1} \leq 1.00 \text{ Kapaciteit}_{\tau+1}$$

De produktie moet niet in stuks maar in geldeenheden worden beslist. Daartoe moet de SPELER de *kostprijs* kennen. Hij kent de kostprijs in de afgelopen periode bij de produktieomvang van die periode. Bovendien geeft het produktierapport hem ook die gegevens voor een 10% grotere of een 10% kleinere produktie en voor een produktie op volle capaciteit. Tezamen kent hij dus 4 waarde-paren. Merk op dat de kostprijs over de tijd varieert t.g.v. R & D en capaciteitsuitbreiding. De SPELER schat de kostprijs in de komende periode via het volgende model.

$$(3.4) \quad \begin{aligned} \text{Totale produktiekosten} &= \\ &= \text{Vaste kosten} + \text{Variabele eenheidskosten} \times \\ &\text{Produktie} = a + b \cdot \text{Produktie} \end{aligned}$$

Indien x het produktievolume aangeeft en y de kostprijs, dan leidt (3.4) tot (3.5):

$$(3.5) \quad y = \frac{a}{x} + b$$

Om de parameters a en b te schatten, past de SPELER volgens de *kleinste kwadraten* methode een rechte lijn aan bij de 4 waarnemingsparen voor (3.4). Het produktiebudget volgt uit het vermenigvuldigen van het produktie-volume dat resulteert uit (3.1) tot en met (3.3), met de kostprijs uit (3.5). Merk op dat in dit bedrijfsspel produktie-smoothing over de tijd niet nodig is; zie bijv. Yuan et al. (1975).

De overige beslissingsregels zullen wij slechts kortweg karakteriseren.

Kapaciteitsuitbreiding: De gewenste capaciteit op tijdstip $t + 1$ (waarvoor op tijdstip t beslist en betaald moet worden) is zo hoog dat daarmee de orders in periode $t + 2$ gedekt kunnen worden, rekening houdend met voorraad. Die orders worden bepaald als een gemiddelde van verwachte orders en „gewenste orders”. De gewenste orders worden vastgesteld door het gewenste marktaandeel (dat op zijn beurt via exponential smoothing is berekend uit de marktaandelen in het verleden). Aldus ontstaat een koppeling met de doelstellingen van de SPELER. Deze gewenste capaciteitsuitbreiding wordt niet in één periode gerealiseerd, aangezien kan blijken dat zij op een te optimistische ordervoorspelling is gebaseerd zodat overcapaciteit zou ontstaan. Daarom wordt een bepaalde „smoothing” toegepast.

Marketing: Het is moeilijk een economisch verantwoord marketing-budget te bepalen; zie bijv. Mann (1975). De volgende heuristische regels worden gehanteerd. (i) Hoeveel kasmiddelen zijn er beschikbaar? (ii) Hoeveel hebben de concurrenten in het recente verleden aan marketing gespendeerd? Daarbij houdt de SPELER rekening met een marketing-effekt dat meerdere perioden werkzaam is. (iii) De componenten uit (i) en (ii) worden gewogen waarbij de grootste component een groter gewicht krijgt indien het gewenste marktaandeel achterblijft en/of de produktiecapaciteit niet volledig bezet is. (iv) Teneinde extreme schommelingen uit te sluiten, beperkt de SPELER wijzigingen in marketing t.o.v. de vorige periode tot 50%.

R & D: Dezelfde benadering als bij marketing wordt toegepast. Aangezien evenwel de R & D van de concurrenten onbekend is, neemt de SPELER aan dat R & D gelijk is aan een bepaalde fraktie van de kasmiddelen van de concurrentie, die wel bekend zijn. (Voor een algemene bespreking van R & D verwijzen wij naar Baker en Freeland (1975).)

Prijzen: Ideaal zou zijn de prijzen vast te stellen op basis van de (direkte en indirecte) prijselasticiteiten (d.w.z. het effect op de afzet indien de eigen prijs resp. de prijs van de concurrenten verandert). De SPELER gebruikt echter de volgende heuristische regels. (Zie ook Farley et al. (1971).) (i) Welke prijs zou de gewenste rentabiliteit geven? De gewenste rentabiliteit is op 15% (per jaar, vóór belastingen) gesteld. Die rentabiliteit bepaalt de winst en, rekening houdend met de kosten, de omzet mits de SPELER aanneemt dat de afzet gelijk is aan de voorspelde orders. Aangezien omzet = prijs $\times$ afzet volgt hieruit de prijs. (ii) De afzet in (i) wordt alleen gehaald indien de concurrenten niet een veel lagere prijs rekenen. Daarom voorspelt de SPELER

de prijs van de konkurrentie. De prijzen uit (i) en (ii) worden gewogen waarbij de hoogste component een groter gewicht krijgt indien de onderneming „goed draait” (d.w.z. produktiecapaciteit volbezet en marktaandeel gehandhaafd). (iii) De prijzen worden gedifferentieerd per marktsegment omdat de transportkosten verschillen. (iv) Prijswijzigingen worden beperkt tot 50%.

Kasrestriktie: Indien de totale uitgaven voor de volgende periode groter zijn dan de kasmiddelen die nu beschikbaar zijn, dan wordt de capaciteitsuitbreiding gereduceerd tot nihil. Produktie, marketing en R & D worden zoveel mogelijk gehandhaafd (en wel in de verhouding 100 : 75 : 25). De resulterende (lagere) produktieomvang wordt herberekend en aangezien de verwachte orders daarmee te groot kunnen worden, worden prijzen eventueel ook herzien.

Merk op dat de beslissingen gebaseerd zijn op *voorspellingen* t.a.v. orders, prijzen van konkurrenten, enz. Deze voorspellingen worden gedaan via de historische gegevens voor deze variabelen, welke in de *data base* zitten. Die data base bevat voorts variabelen die de huidige status en de historie van de onderneming beschrijven (bijv. voorraden, marktaandelen) welke de beslissingen mede bepalen. Zoals reeds is vermeld geschieden de voorspellingen d.m.v. *exponential smoothing*, d.w.z.

$$(3.6) \quad \text{Nieuw gemiddelde} = \text{oud gemiddelde} + \alpha (\text{nieuwe waarde} - \text{oud gemiddelde})$$

De prijs van de konkurrentie wordt voorspeld via (3.6) met $\alpha = 0.50$. De overige variabelen worden voorspeld rekening houdend met een eventuele trend, waarbij de groei via (3.6) met $\alpha = 0.20$ wordt voorspeld.

Samenvattend, een geprogrammeerde speler is ontworpen, gebaseerd op kwalitatieve economische kennis en heuristische stuurregels. Het zou gewenst zijn deze SPELER te laten spelen tegen menselijke deelnemers aan het bedrijfsspel teneinde na te gaan in hoeverre de SPELER een realistisch model is; zie ook Shubik et al. (1971, p. 29, 42). Wij lieten in deze fase van het onderzoek alleen 3 SPELER's tegen elkaar spelen. (De SPELER's gebruikten dezelfde beslissingsregels maar hun informatie verschilt zodat verschillende beslissingswaarden resulteren. Daardoor gaan hun resultaten verschillen, enz.) Het is bemoedigend dat bankroet uiterst zelden optreedt, en dat een andere informatiekwaliteit effecten heeft, die (achteraf beschouwd) logisch verwacht mogen worden, zoals wij nu zullen gaan zien.

4 Onnauwkeurige produktiekosten-informatie

In het volgende experiment wordt aangenomen dat de gerapporteerde produktiekosten per eenheid (y) een onnauwkeurigheid (ϵ) vertonen bovenop de ware waarde (η). (Toevalsvariabelen zijn onderstreept.) M.a.w.

$$(4.1) \quad y_i = \eta_i + \underline{e}_i \quad (i = 1, \dots, 4)$$

Zoals boven (3.4) werd opgemerkt, wordt y gerapporteerd voor de afgelopen periode en wel voor 4 waarden van het produktievolumen x . Wij nemen aan dat de onnauwkeurigheid $\underline{e}$ normaal verdeeld is aangezien vele factoren tot die onnauwkeurigheid kunnen bijdragen zodat de centrale limietstelling geldt. De verwachting van de $\underline{e}$'s wordt gesteld op nul (geen systematische fouten); de $\underline{e}$'s zijn onafhankelijk; de variantie wordt gesteld op een dusdanige waarde dat wij 99% zeker zijn dat de relatieve fouten kleiner zijn dan een drempelwaarde c waarbij c afhangt van de kwaliteit van het informatiesysteem:

$$(4.2) \quad P \left\{ \frac{|y_i - \eta_i|}{\eta_i} \leq c \right\} = 0.99$$

Het is eenvoudig af te leiden dat dan geldt

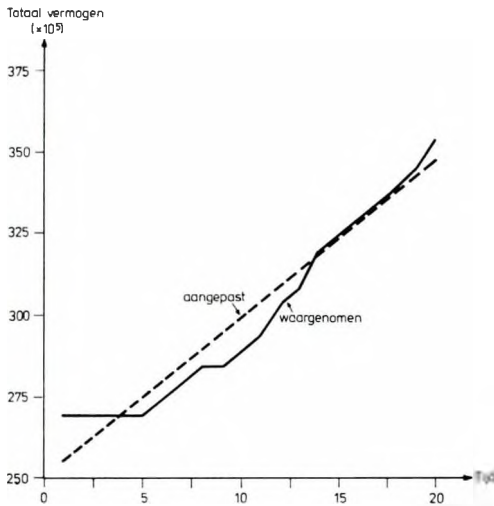
$$(4.3) \quad \text{var}(\underline{e}_i) \equiv \sigma_i^2 = \frac{c}{2.56} \eta_i^2$$

waar 2.56 volgt uit de tabel voor de normale verdeling. *Samenvattend*, de onnauwkeurigheden worden gemodelleerd door (4.1), (4.3) en (4.4) waarin NOV betekent „normaal, onafhankelijk, verdeeld”.

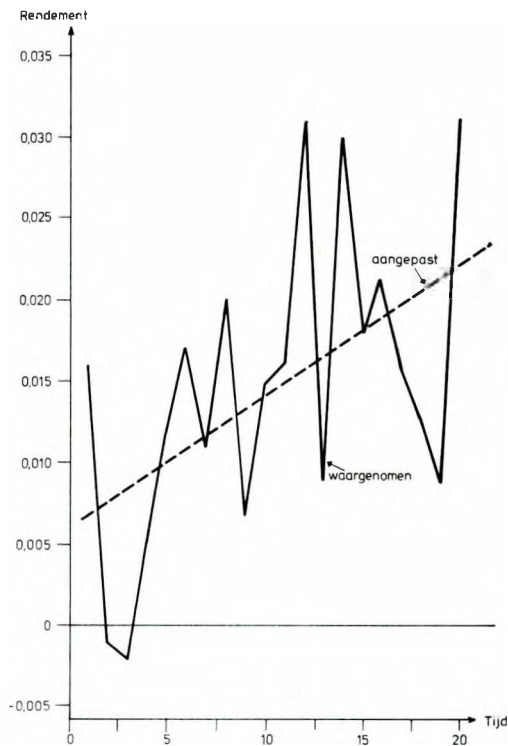
$$(4.4) \quad \underline{e}_i \sim \text{NOV}(0, \sigma_i^2)$$

Uit realiteitsoverwegingen worden bovendien fouten groter dan de drempel c afgekapt op c . Om de kostprijs te voorspellen, past de SPELER een kleinste kwadraten curve aan bij de 4 waarde-paren x_i, y_i hetgeen resulteert in schattingen van a en b in (3.5). Merk op dat de waarde-paren uit andere perioden niet gebruikt worden omdat R & D en capaciteitsuitbreidingen de kostencurve beïnvloeden.

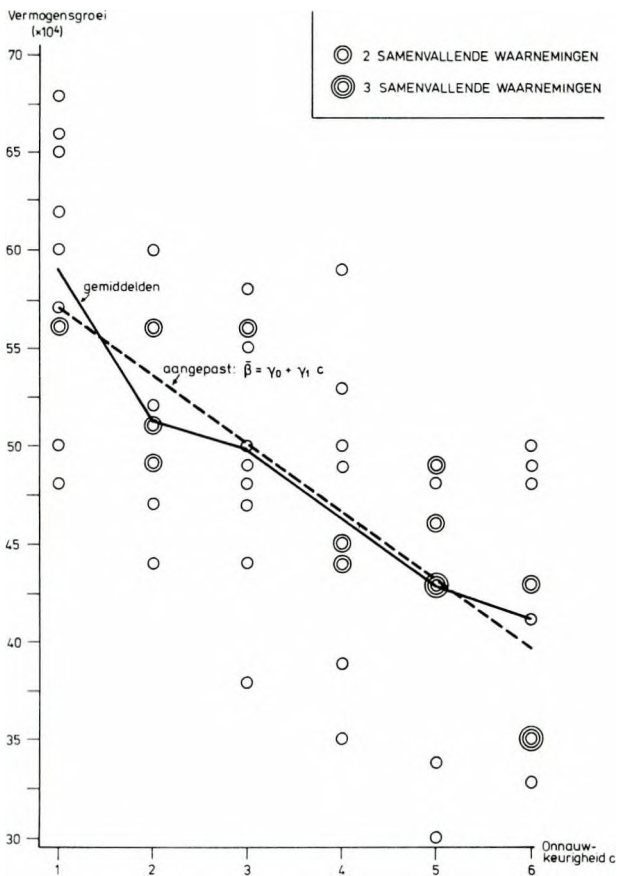
Beschouwen wij vervolgens de „proefopzet” van ons experiment. De drempelwaarde c in (4.2) fixeren wij op 0% voor onderneming 1 en 20% voor onderneming 3. Voor onderneming 2 worden 6 waarden van c onderzocht, namelijk 0, 4, 8, 12, 16 en 20%. Telkens wordt een tijdpad van 5 jaren ofwel 20 kwartalen gesimuleerd, aangezien wij stellen dat binnen zo'n termijn de eventuele voordelen van akkuratere informatie moeten zijn gerealiseerd. Vijf jaar is ook de gebruikelijke planningshorizon in de ondernemingsplanning; zie Grinyer en Batt (1974, p. 160). Aangezien de meetfouten $\underline{e}$ stochastisch zijn, herhalen wij elk tijdpad van 20 perioden een aantal keren, te weten 10 maal. In de analyse zullen wij zien dat deze 10 „replikaties” betrouwbare konklusies toestaan. Alle 10×6 tijdpaden zijn statistisch onafhankelijk aangezien zij verschillende toevalsgetallen gebruiken. Als criteria besloten wij de volgende variabelen te meten voor onderneming 2; zie ook Hand en Sims (1975). (1) Rendement over het vermogen (2) Marktaandeel (3) Totaal vermogen (= kas + voorraad + produktiekapaciteit). Deze 3 variabelen kunnen



Figuur 1: Tijdpad van het totaal vermogen
(onnauwkeurigheid: $c = 0.20$)



Figuur 2: Tijdpad van het rendement
($c = 0.20$)



Figuur 3: Vermogensgroei versus nauwkeurigheid

per kwartaal worden berekend. Een tijdpad kan door het gemiddelde over 20 perioden worden gekarakteriseerd, of door een trendlijn (zie beneden). De startcondities voor elk tijdpad besloten wij te genereren door de eindcondities te nemen nadat 40 perioden waren gesimuleerd startend met condities die gebaseerd werden op het voorbeeld in IBM (1963).

Bekijken wij vervolgens of een *tijdpad* kan worden gekarakteriseerd door zijn *gemiddelde* of dat een *trendlijn* nodig is. Laat $\underline{r}$ de responsie variabele (rentabiliteit, marktaandeel, of vermogen) aangeven. Dan is het lineaire trendmodel als volgt:

$$(4.5) \quad \underline{r}_t = \beta_0 + \beta_1 t + \underline{u}_t \quad (t = 1, \dots, 20)$$

waarin $\underline{u}$ een storingsterm aangeeft (waarvoor wij géén nadere veronderstellingen, zoals normaliteit, maken). De koëfficiënten β_0 en β_1 (= groei) schatten wij met de kleinste kwadraten methode; zie figuur 1 en 2 ter illustratie. Teneinde na te gaan hoe goed de geschatte trendlijn het tijdpad verklaart, berekenen wij de (in de statistiek klassieke) koëfficiënt R^2 :

$$(4.6) \quad R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{20} (\hat{f}_t - \bar{r})^2}{\sum_{t=1}^{20} (\underline{r}_t - \bar{r})^2} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{20} (\underline{r}_t - \hat{f}_t)^2}{\sum_{t=1}^{20} (\underline{r}_t - \bar{r})^2}$$

waarbij $\hat{f}$ volgt uit de kleinste kwadraten schatters $\hat{\beta}_0$ en $\hat{\beta}_1$ in (4.5) en $\bar{r}$ het gemiddelde is van de 20 perioden. De laatste gelijkheid in (4.6) volgt uit de kleinste kwadraten eigenschappen en toont duidelijk aan dat het geschatte trendmodel nuttig is indien R^2 tot 1 nadert. Uit de 6×10 tijdpaden berekenen wij R^2 voor het 1^{ste} graad polynoom model (4.5) en tevens voor polynoom modellen van de 2^e en 3^e graad. De volgende konklusies konden worden getrokken:

- (1) Voor het tijdpad van het *totaal vermogen* is het lineaire trendmodel (4.5) geschikt. R^2 varieert namelijk tussen 0.945 en 0.999.
- (2) *Rentabiliteit* en *marktaandeel* fluktuëren dusdanig over de gesimuleerde 20 perioden dat R^2 voor het lineaire trendmodel varieert tussen 0.00 en 0.41. Polynomen van de 2^e en 3^e graad verhogen R^2 onvoldoende (bijv. R^2 stijgt van 0.275 tot 0.312 en 0.317). Het lijkt daarom zinvol deze tijdpaden te karakteriseren door hun *gemiddelden* ($\bar{r}$).

Merk op dat elk tijdpad bestaat uit 20 kwartalen, voor elk van de 3 criterium-variabelen (zie ook fig. 1 en 2). Elk tijdpad geeft dus een gemiddelde ($\bar{r}$) of een groei ($\hat{\beta}_1$) en een y-intercept ($\hat{\beta}_0$) voor elk van die 3 variabelen. Bovendien wordt elk tijdpad gerepliceerd voor elk van de 6 drempelwaarden c ; zie figuur 3. Per c -waarde kunnen wij dus een gemiddelde berekenen uit 10 replicaties van bijv. de groei van het vermogen of het gemiddelde rendement over 20 perioden. Laten wij het symbool $\bar{r}$ gebruiken om in het algemeen een

gemiddelde groei ($\bar{\beta}_1$), een y-intercept ($\bar{\beta}_0$), of een gemiddelde ($\bar{r}$) van een van de 3 criterium-variabelen (vermogen, marktaandeel, rendement) aan te geven. Het is interessant te zien of deze $\bar{\beta}$ afneemt als de onnauwkeurigheid toeneemt; zie figuur 3. Het model dat wij dus gebruiken is als volgt:

$$(4.7) \quad \bar{\beta}_i = \gamma_0 + \gamma_1 c_i + v_i \quad (i = 1, \dots, 6)$$

waarin c de onnauwkeurigheid weergeeft volgens (4.2). $\bar{\beta}_i$ is het gemiddelde van 10 replicaties (van bijv. de groei van het vermogen, of het gemiddelde rendement over 20 kwartalen), en v_i is weer een storingsterm. Aangezien wij graag onze konklusies t.a.v. (4.7) met een bepaalde betrouwbaarheid willen trekken, moeten wij statistische technieken gebruiken die op bepaalde veronderstellingen zijn gebaseerd. Theoretisch (op praktische uitwerkingen komen wij beneden terug) gelden de bekende veronderstellingen van regressie- en variantie-analyse, t.w.:

$$(4.8) \quad v_i \sim \text{NOV}(0, \sigma_v^2)$$

Gebruikmakend van de veronderstellingen in (4.8) kunnen wij statistisch toetsen of het lineaire model voor het effect van onnauwkeurige informatie, geformuleerd in (4.7), adequaat is. Daartoe vergelijken wij met elkaar:

- 1 De spreiding van de 10 replicaties (zeg β_{ij}) rond hun gemiddelde ($\bar{\beta}_i$) die aangeeft welke afwijkingen van het gemiddelde verwacht mogen worden (dus afgezien van het model (4.7)). Voor elke c -waarde hebben wij 10 van zulke replicaties.
- 2 De afwijking tussen het gemiddelde (van 10 replicaties) voor een bepaalde c , en de met het lineaire model (4.7) voorspelde waarde (zeg $\bar{\beta}_i = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 c_i$). Zo'n „residu” hebben wij voor elk van de 6 waarden van c . Indien het model slecht is, zullen deze residuën groot zijn.

In Kleijnen (1975a, p. 367) wordt aangetoond dat beide afwijkingen vergeleken kunnen worden via de F-toets.

$$(4.9) \quad F_{4,54} = \frac{\sum_{i=1}^6 (\bar{\beta}_i - \hat{\beta})^2 / (6-2)}{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} (\beta_{ij} - \bar{\beta}_i)^2 / \{6(10-1)\}}$$

In Kleijnen (1975a) hebben wij tevens uiteengezet waarom deze F-toets niet erg gevoelig is voor afwijkingen van normaliteit en konstante variantie die in (4.8) zijn verondersteld. In ons experiment blijken alle berekende F-waarden kleiner dan 1 te zijn zodat wij niet hoeven over te gaan tot het verwerpen van de volgende *hypothese*: Het lineaire model (4.7) geeft een goede verklaring van het effect van onnauwkeurige produktiekosten-informatie op de trend resp. het gemiddelde van het tijdpad van de 3 criterium-variabelen (vermogen resp. marktaandeel en rendement).

Verder hebben wij ook R^2 berekend voor het lineaire model (4.7):

- (1) Het *totaal vermogen* toont een *groei* die goed door het lineaire model wordt verklaard ($R^2 = 0.95$). De *startwaarde* (of y-intercept) wordt slecht verklaard ($R^2 = 0.50$). In principe zouden wij daarom een 2e graads polynoom kunnen proberen voor die startwaarde, maar de F-toets geeft geen aanleiding tot een model van hogere graad. Inderdaad blijkt R^2 bij een 2^e graads polynoom slechts te stijgen van 0.50 tot 0.77. Een betere interpretatie van $R^2 = 0.50$ is dan ook dat de storingen in (4.7) zo groot zijn dat een eenvoudiger „horizontaal” model adequaat is, d.w.z. de onnauwkeurigheid heeft géén invloed op de startwaarde van het tijd-pad van het totaal vermogen.
- (2) Het *marktaandeel* en het *rendement* tonen een gemiddelde (over 20 kwartalen) dat goed door het lineaire model (4.7) wordt verklaard ($R^2 = 0.86$ resp. 0.97). (Bij een trendmodel (4.5) zouden wij vinden dat de groei niet en de y-intercept wel goed door het lineaire model (4.7) worden verklaard.)

In de vorige alinea zagen wij hoe „goed” het lineaire model (4.7) het effect van onnauwkeurige informatie weergeeft. Een verdere analyse kan tot *statistische betrouwbaarheidsuitspraken* leiden. Wij kunnen namelijk dankzij de veronderstellingen (4.8) de hypothese toetsen dat het effect γ_1 in (4.7) nul is. Deze toets is gebaseerd op de klassieke t-toets:

$$(4.10) \quad \underline{t} = \frac{\hat{\gamma}_1 - E(\hat{\gamma}_1)}{\underline{s}(\hat{\gamma}_1)} = \frac{\hat{\gamma}_1 - \gamma_1}{\underline{s}(\hat{\gamma}_1)}$$

Draper en Smith (1966) bewijzen dat het rechterlid van (4.10) inderdaad een t-verdeling heeft mits de veronderstellingen (4.8) gelden. Geldt de veronderstelde konstante variantie niet, dan kunnen wij vrij eenvoudig de variantie van $\hat{\gamma}_1$ schatten¹). De vrijheidsgraden van $\underline{t}$ kunnen wij gelijkstellen aan 9^2). Geldt de normaliteitsveronderstelling niet dan is nochtans bekend dat de t-toets goed toepasbaar blijft. Aldus hebben wij met 90% betrouwbaarheid de intervallen in tabel 2 afgeleid. Aangezien deze intervallen niet het nulpunt dekken, kunnen wij met 90% zekerheid konkluderen dat onnauwkeurige produktiekosten-informatie een *negatief effect* heeft op de groei van het vermogen en het gemiddelde marktaandeel en rendement. (Uit cijfers die niet in tabel 2 staan vermeld, blijkt dat de y-intercept van de trend voor het vermogen niet significant wordt beïnvloed.)

¹) $\text{var}(\hat{\gamma}_1) = \frac{\sum_{i=1}^6 \frac{\sigma_i^2}{10}}{\sum_{i=1}^6 \frac{\sigma_i^2}{10}} / (\sum_{i=1}^6 \frac{\sigma_i^2}{10})^2$ waarbij $\sigma_i^2/10$ de variantie van v_i in (4.7) aangeeft en $\tilde{c}_i = c_i - \bar{c}$. De maximale $\hat{\sigma}_i^2$ gedeeld door de minimale $\hat{\sigma}_i^2$ bleek gelijk te zijn aan 1.98 voor de groei van het vermogen, 3.24 voor het gemiddelde rendement, en 4.17 voor het gemiddelde marktaandeel.

²) Elke komponent van $\text{var}(\hat{\gamma}_1)$, namelijk $\hat{\sigma}_i^2$, heeft 9 vrijheidsgraden voor $\text{var}(\hat{\gamma}_1)$ dan is de toets konservatief, d.w.z. de echte α -fout kan kleiner zijn dan de nominale α -fout van bijv. 10%. Zie ook Kleijnen (1975a, p. 471-473).

Effekt van onnauwkeurigheid ($\hat{\gamma}_1$)	Groei van vermogen	Gemiddeld marktaandeel	Gemiddeld rendement
Gemiddelde ($\hat{\gamma}_1$)	-335×10^2	-269×10^{-5}	-843×10^{-6}
Benedenlimiet	-422×10^2	-391×10^{-5}	-1031×10^{-6}
Bovenlimiet	-247×10^2	-146×10^{-5}	-654×10^{-6}

Tabel 2: Effect van onnauwkeurige produktiekosten-informatie op criteriumvariabelen, incl. 90% betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 2 toont ook de volgende verwachte effecten („puntschatters”):

- (1) *Totaal vermogen*: Indien de onnauwkeurigheidsscherm c daalt met 0.04 eenheden dan stijgt de groei per kwartaal met \$ 33.500 (of ruwweg 7%, want de groei is \$ 485.767 indien $c = 3.5$).
- (2) *Marktaandeel*: Indien c daalt met 0.04 eenheden dan stijgt het marktaandeel (gemiddeld over 20 kwartalen) met 0.269 punten (of 0.8% van het „gewone” marktaandeel van 33%).
- (3) *Rendement*: Indien c daalt met 0.04 eenheden, stijgt het rendement per kwartaal (gemiddeld over 20 kwartalen) met 0.08 punten (of 5% van het gewone rendement van 1.5% per kwartaal).

Zoals we al zagen worden de groei resp. de gemiddelden *lineair* beïnvloed door de onnauwkeurigheid van de informatie over het gehele gebied waarin wij experimenteerden.

Het bovenbeschreven experiment hebben wij nog eens herhaald uitgaande van minder gunstige kondities bij het begin van de te simuleren tijdspaden van 20 kwartalen. Als *startkonditie* kozen wij een situatie met verlies dat nog verder leek toe te nemen. In het nieuwe experiment blijken sommige tijdspaden tot *bankroet* te leiden. (De kans op bankroet schatten wij op 5.8% aangezien 7 van de 120 tijdspaden in bankroet resulteren.) Indien een bankroet optreedt spelen wij dit tijdspad met andere toevalsgetallen na. Onze analyses en conclusies zijn dus beperkt tot situaties zonder bankroet. Het trendmodel (4.5) voldoet opnieuw niet voor marktaandeel en rendement. Voor het totaal vermogen voldoet het veel beter maar niet zo goed als in het eerste experiment met gunstiger startkondities. Met name bij grote onnauwkeurigheid, d.w.z. $c = 0.20$, vonden wij 4 replikaties met R^2 beneden 0.80, namelijk 0.79, 0.68, 0.43 en 0.41. De overige replikaties en c -waarden gaven gunstiger R^2 waarden (tot 0.98 toe) zodat wij voor het vermogen het lineaire trendmodel (4.5) blijven gebruiken. De vermogensgroei en het gemiddeld marktaandeel en rendement kunnen wij ook weer als een lineaire functie van de informatie-onnauwkeurigheid trachten weer te geven zoals in (4.7). Onze analyse toonde dat de toevallige fluktuaties in (4.7) een zeer grote rol spelen: R^2 voor (4.7) is laag, namelijk 0.05 voor vermogensgroei, en 0.17 voor gemiddeld rendement (wel 0.82 voor marktaandeel). De betrouwbaarheidsgebieden voor het nauwkeurigheidseffect γ_1 in (4.7) zijn zeer breed, zodat geen significant effect wordt gevonden. Om de invloed van toevallige fluktuaties te verminde-

ren besloten wij nog eens 10 extra replikaties per c-waarde uit te voeren. (De resulterende R^2 voor het trendmodel (4.5) stemmen overeen met die in de eerste 10 replikaties.) De analyse van alle 20 replikaties tezamen tonen dat het *lineaire model* (4.7) voor het onnauwkeurigheidseffekt niet verworpen hoeft te worden ten gunste van een hogere graads polynoom, want de F-waarden van (4.9) blijven kleiner dan 1 voor elk van de 3 criterium-variabelen. De R^2 voor (4.7) blijft „tamelijk” hoog voor vermogensgroei en gemiddeld rendement (namelijk 0.67 resp. 0.62), maar niet voor het marktaandeel (0.09). Statistische betrouwbaarheidsuitspraken³) staan in tabel 3, en tonen dat inderdaad de vermogensgroei en het rendement significant worden beïnvloed, maar het marktaandeel niet. Vergelijking met tabel 2 toont dat de onnauwkeurigheidseffekten kleiner zijn in dit tweede experiment.

Effekt van onnauwkeurigheid (γ_1)	Groei van vermogen	Gemiddeld marktaandeel	Gemiddeld rendement
Gemiddelde ($\bar{\gamma}_1$)	-102×10^2	69×10^{-5}	-370×10^{-6}
Benedengrens	-177×10^2	-143×10^{-5}	-711×10^{-6}
Bovengrens	-26×10^2	282×10^{-5}	-29×10^{-6}

Tabel 3: Effect van onnauwkeurige produktiekosten-informatie, incl. 90% betrouwbaarheidsinterval; bij ongunstige startkondities.

5 Onnauwkeurige omzet-informatie

In het volgende experiment concentreren wij ons op de onnauwkeurigheid van informatie betreffende de afzetcijfers. Deze afzetcijfers werken op hun beurt door in enige andere variabelen. Immers in het oorspronkelijke model zonder onnauwkeurigheid van informatie, gelden de volgende relaties:

$$(5.1) \quad \text{Afzet} = \text{Orders, indien Orders} \leq \text{Oude voorraad} + \text{Produktie} \\ = \text{Oude voorraad} + \text{Produktie, indien Orders} > \text{Oude voorraad} + \text{Produktie}$$

$$(5.2) \quad \text{Nieuwe voorraad} = \text{Oude voorraad} + \text{Produktie} - \text{Afzet.} \\ (\text{Niet alleen de voorraadhoeveelheid maar ook de voorraad gewaardeerd in geld, wordt beïnvloed. Dit effect wordt niet in (5.2) getoond; zie ook (5.4).})$$

$$(5.3) \quad \text{Omzet} = \text{Afzet} \times \text{Prijs}$$

$$(5.4) \quad \text{Kosten omzet} = \text{Kosten oude voorraad} + (\text{Afzet} - \text{Oude voorraad}) \\ \times \text{Kostprijs, mits Oude voorraad} + \text{Produktie} > \text{Afzet} \geq \text{Oude voorraad} \\ (\text{anders moet de formule enigszins gewijzigd worden}).$$

³) $\max \hat{\sigma}_i^2 / \min \hat{\sigma}_i^2$ is 15.6, 12.9 resp. 3.6; zie voetnoot 1.

$$(5.5) \quad \text{Transportkosten} = \text{Afzet} \times \text{Transportkosten per eenheid}$$

$$(5.6) \quad \text{Belastingen} = 0.50 (\text{Omzet} - \text{Totale kosten})$$

$$(5.7) \quad \text{Kas} = \text{Oude kas} + \text{Omzet} - \text{Uitgaven}$$

$$(5.8) \quad \text{Vermogen} = \text{Kas} + \text{Voorraad} + \text{Produktiekapaciteit.}$$

Vervolgens nemen wij aan dat de omzet- of afzetgegevens wel onnauwkeurigheden tonen. Wij besloten de volgende specificatie te gebruiken. Indien de „boekhoudkundige” voorraad (d.w.z. de voorraad zoals geadministreerd in de „data base”) nihil is, dan worden orders niet geaksepteerd (zelfs als de fysieke voorraad positief is). Anderzijds, indien de boekvoorraad positief is maar de fysieke voorraad nihil, dan leidt het aksepteren van een order tot een signaal uit het magazijn zodat alsnog niet geleverd wordt. Dus

$$(5.9) \quad \text{Afzet} = \text{Orders, indien } \text{Orders} \leq \text{Produktie} + \text{minimum (Oude voorraad, Boekvoorraad)}$$

De afzetcijfers tonen boekhoudfouten:

$$(5.10) \quad \text{Boekafzet} = \text{Afzet} + \text{Onnauwkeurigheid}$$

De SPELER baseert zijn boekhouding op de onnauwkeurige afzetcijfers van (5.10), m.a.w. in (5.2) tot en met (5.8) dient Afzet te worden vervangen door Boekafzet. In 2 gevallen treedt echter een correctie op: (i) Indien de boekvoorraad negatief zou worden, wordt hij op nihil gesteld, m.a.w.

$$(5.11) \quad \text{Boekafzet} = \text{minimum (Boekafzet, Produktie} + \text{Boekvoorraad)}.$$

(ii) De SPELER wordt in zijn beslissingen beperkt door de beschikbare kasmiddelen; zie paragraaf 3. Indien hij meer zou willen besteden doordat de boekhouding een te grote kasvoorraad aangeeft, dan worden de totale uitgaven alsnog afgekapt op de werkelijke kasmiddelen. Merk verder op dat de SPELER zijn orders voorspelt uit de gegevens betreffende de afzet, niet de orders; zie ook (5.1). (Dit is de gebruikelijke procedure in zelfbedieningswinkels.) Tenslotte specificeren wij nog dat de onnauwkeurigheden in (5.10) op dezelfde manier worden gemodelleerd als in het vorige experiment met produktiegegevens; zie (4.1) tot en met (4.4) waar thans de index i het marktsegment aangeeft.

In ons experiment namen wij dezelfde startkondities als in het eerste deel van het experiment in paragraaf 4 (de „gunstige” startkondities), en voeren eveneens 10 replikaties uit, met nieuwe toevalsgetallen. De 3 criteriumvariabelen worden gemeten zonder afzet-onnauwkeurigheden, d.w.z. buiten de boekhouding van de SPELER om. Het tijdpad over 20 kwartalen kan eventueel via het lineaire trendmodel (4.5) worden gekarakteriseerd. De resul-

rende R^2 gedefinieerd in (4.6), tonen dat een polynoom van de 2^e of 3^e graad geen beter model is dan (4.5). Of een lineair model of een gemiddelde van 20 kwartalen, het meest geschikt is, is niet evident. Bijvoorbeeld, voor het totaal vermogen zijn 11 van de 60 R^2 -waarden kleiner dan 0.50; voor het marktaandeel 14 van de 60, en voor het rendement 45 van de 60. Daarom zullen wij beide karakterisering, trend en gemiddelde, analyseren.

Wij gebruiken het lineaire model (4.7) om het effect van onnauwkeurige informatie op de output te onderzoeken. (De output is dus een gemiddelde of een groei en y-intercept voor elk van de 3 criteria, t.w. vermogen, marktaandeel, rendement.) De F-toets van (4.9) toont dat dit lineaire model niet hoeft te worden verworpen ten gunste van een ingewikkelder model. (Alle F-waarden zijn kleiner dan 1, behalve één F-waarde die 1.26 is en daarmee ook insignificant.) Tevens berekenen wij R^2 voor dit lineaire model; zie tabel 4.

	Vermogen	Marktaandeel	Rendement
Groei	0.87	0.77	0.80
Intercept	0.82	0.67	0.76
Gemiddelde	0.90	0.79	0.82

Tabel 4: R^2 voor trend of gemiddelde als functie van onnauwkeurigheid.

Indien wij R^2 „laag” vinden, dan verwerpen wij het lineaire model (4.7) ten gunste van de hypothese dat onnauwkeurigheden geen effect heeft. Statistisch betrouwbare uitspraken zijn mogelijk door de t-statistic van (4.10) te gebruiken voor het effect γ_1 in (4.7)⁴). Dit resulteert in tabel 5 en 6. Deze tabellen tonen dat elk van de 3 criterium-variabelen significant wordt beïnvloed. Indien wij een lineair trendmodel voor het tijdpad gebruiken, daalt de groei (= hellingshoek) bij toenemende onnauwkeurigheid, en stijgt daarmee de y-intercept. (De lijn „kantelt”) Indien wij het tijdpad karakteriseren met zijn gemiddelde, dan daalt dit gemiddelde significant bij toenemende onnauwkeurigheid. Vergelijking van tabel 5 en 6 met tabel 2 toont dat in het algemeen onnauwkeurige afzet-gegevens een groter effect hebben dan produktiegegevens. Dit verbaast ons niet aangezien de verkopen de drijvende kracht zijn van de onderneming.

Effect van onnauwkeurigheid (γ_1)	Vermogen		Marktaandeel		Rendement	
	Groei	Intercept	Groei	Intercept	Groei	Intercept
Gemiddelde	-674×10^2	3186×10^2	-12429×10^{-7}	373×10^{-5}	-3255×10^{-7}	158×10^{-5}
Benedengrens	-968×10^2	1546×10^2	-18219×10^{-7}	164×10^{-5}	-4741×10^{-7}	98×10^{-5}
Bovengrens	-378×10^2	4827×10^2	-6638×10^{-7}	583×10^{-5}	-1768×10^{-7}	217×10^{-5}

Tabel 5: Effect van onnauwkeurige omzet-informatie op de trend, incl. 90% betrouwbaarheidsinterval.

⁴) $\max \hat{\sigma}_1^2 / \min \hat{\sigma}_1^2$ wijkt ver af van 1, namelijk van 9.9 voor gemiddeld marktaandeel tot 336.0 voor groei van rendement.

Effekt van onnauwkeurigheid (γ_1)	Vermogen	Marktaandeel	Rendement
Gemiddelde	-3889×10^2	-932×10^{-5}	-1840×10^{-6}
Benedengrens	-5383×10^2	-1354×10^{-5}	-2880×10^{-6}
Bovengrens	-2395×10^2	-510×10^{-5}	-800×10^{-6}

Tabel 6: Effect van onnauwkeurige omzet-informatie op het gemiddelde, incl. 90% betrouwbaarheids-interval.

6 Konklusies

In dit verslag werd gerapporteerd over diverse experimenten in het kader van een simulatie-model van een onderneming die konkurreert met 2 andere ondernemingen. De beslissingen van de ondernemingen worden genomen door het computerprogramma SPELER; de resultaten worden berekend door het IBM bedrijfsspel. Geëxperimenteerd werd met diverse nauwkeurigheidsgraden van de informatie waarop die SPELER zijn beslissingen baseert. Zowel de informatie betreffende de produktiekosten als de verkopen blijkt een lineair en significant effect te hebben op de tijdpaden die de 3 criteriumvariabelen (vermogen, marktaandeel, rendement) afleggen.

De resultaten van de experimenten werden getoetst op hun statistische betrouwbaarheid. Een beperking van elke simulatie is dat de konklusies, strikt genomen, alleen gelden voor de gegeven structuur en parameterwaarden. In de toekomst kunnen wij die structuur en parameters verder variëren teneinde hun effect op onze konklusies te onderzoeken. Aldus kunnen wij proberen konklusies te bereiken met een groot geldigheidsgebied. Ook kunnen de huidige experimenten worden beschouwd als illustratie van de methodologie die vervolgens in de praktijk kan worden toegepast. In zo'n praktijkgeval moet dan het IBM bedrijfsspel worden vervangen door een model van de onderneming die wij wensen te bestuderen. De beslissingsregels moeten daarbij natuurlijk worden aangepast.

Interessant is het verder om ook andere kwaliteitsaspecten dan nauwkeurigheid te onderzoeken. Een probleem apart is daarbij het specificeren van de kwaliteitsaspecten van een concreet informatiesysteem, in een model zoals (4.1) tot en met (4.4).

7 Verantwoording

Bovenbeschreven experiment werd uitgevoerd tijdens een éénjarig verblijf in het IBM Research Laboratory, mogelijk gemaakt door een IBM Postdoctoral Fellowship en een ZWO stagebeurs. Veel dank ben ik verschuldigd aan Dr. L. Barbosa en Dr. J. Jacob (IBM Research Laboratory, San Jose, California) voor de vele stimulerende diskussies die ik met hen over het besproken experiment heb gevoerd. Dr. Barbosa zorgde voor de programmering van het bedrijfsspel en de SPELER.

Literatuurverwijzingen

- BAKER, N. and J. FREELAND, Recent advances in R & D benefit measurement and project selection methods. *MANAGEMENT SCIENCE*, 21, no. 10, June 1975, p. 1164-1175.
- DRAPER, N. R. and H. SMITH, *APPLIED REGRESSION ANALYSIS*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.
- FARLEY, J. U., J. A. HOWARD, and J. HULBERT, An organizational approach to an industrial marketing information system. *SLOAN MANAGEMENT REVIEW*, 13, no. 1, Fall 1971, p. 35-54.
- FISHER, G. H., *COST CONSIDERATIONS IN SYSTEMS ANALYSIS*. American Elsevier Publishing Company, Inc., New York, 1971.
- GRINYER, P. H. and C. D. BATT, Some tentative findings on corporate financial simulation models. *OPERATIONAL RESEARCH QUARTERLY*, 25, no. 1, Jan. 1974, p. 149-167.
- HAND, H. H. and H. P. SIMS, Statistical evaluation of complex gaming performance. *MANAGEMENT SCIENCE*, 21, no. 6, Feb. 1975, p. 708-717.
- IBM, IBM MANAGEMENT DECISION-MAKING LABORATORY. (Administrator's Reference Manual, GB20-8099-0. Instructions for Participants, SE20-8098-0.) IBM, White Plains, 1963.
- KLEIJNEN, J. P. C., *STATISTICAL TECHNIQUES IN SIMULATION*. (In two parts.) Marcel Dekker, Inc., New York, 1974/1975. (a)
- KLEIJNEN, J. P. C., Economic evaluation of information and computer systems: a survey. *EURO I FIRST EUROPEAN CONGRESS ON OPERATIONS RESEARCH*, 27-29 Jan. 1975. (b)
- MANN, D. H., Optimal theoretic advertising stock models: a generalization incorporating the effects of delayed response from promotional expenditure. *MANAGEMENT SCIENCE*, 21, no. 7, March 1975, p. 823-832.
- MOCK, T. J., A longitudinal study of some information structure alternatives. In: *PROCEEDINGS OF THE WHARTON CONFERENCE ON RESEARCH ON COMPUTERS IN ORGANISATIONS*, edited by H. L. MORGAN, The Society for Management Information Systems, Special Report no. 2, Dec. 1973.
- NAYLOR, T. H., J. L. BALINTFY, D. S. BURDICK and K. CHU, *COMPUTER SIMULATION TECHNIQUES*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.
- SCHOEFFLER, S., R. D. BUZZEL and D. F. HEANY, Impact of strategic planning on profit performance. *HARVARD BUSINESS REVIEW*, 52, no. 2, March-April 1974, p. 137-145.
- SHUBIK, M., G. WOLF and S. LOCKHART, An artificial player for a business market game. *SIMULATION & GAMES*, 2, no. 1, March 1971, p. 27-43.
- VERRIJN STUART, A. A., Gegevensbeveiliging - een kwantitatieve aanpak. *INFORMATIE*, 17, no. 9, Sept. 1975, p. 403-475.
- WOLF, G., Some research and teaching with an on-line oligopoly game using an artificial player. *DECISION SCIENCES*, 3, 1972, p. 101-114.
- YUAN, J. S. C., J. H. HOREN and H. M. WAGNER, Optimal multi-product production scheduling and employment smoothing with deterministic demands. *MANAGEMENT SCIENCE*, 21, no. 11, July 1975, p. 1250-1262.