

Wegen naar afwegen, of: hoe houd je de zaak draaiende

A.G. de Kok

Samenvatting

In deze oratie staat de afweging, de trade-off, centraal. Gesteld wordt dat in de bekende logistieke concepten MRP II en JIT geen expliciete afwegingen worden gemaakt tussen klantenservice en productie- en distributiekosten. Beide concepten gaan voorbij aan onzekerheid in klantvraag en productieproces, althans geven hiervoor geen duidelijke richtlijnen. M.b.v. kwantitatieve analyses is het wel degelijk mogelijk met deze onzekerheid rekening te houden. Dan blijkt bijvoorbeeld JIT uit te gaan van te optimistische veronderstellingen.

Dezelfde kwantitatieve analyses kunnen ook van belang zijn bij het maken van keuzes in het creatieproces. Immers, in dat stadium is nog veel onzeker, maar kan met modellen het effect van keuzes op de kosten en opbrengsten van het primaire proces zichtbaar worden gemaakt. Tenslotte wordt nog ingegaan op het verschil tussen modelleren en analyseren. Ten onrechte wordt vaak een model complex genoemd, terwijl men de wiskundige analyse van het model bedoeld.

Prof.dr. A.G. de Kok
Faculteit Technische Bedrijfskunde
Technische Universiteit Eindhoven
Postbus 513, Paviljoen F4
5600 MB Eindhoven
tel. 040-473849

1. Inleiding

Dames en heren,

Stel u voor: een leeg toneel met daarop een rij verticale dunne stokken. Daarnaast een stapel borden. Tromgeroffel, trompetgeschal, een man met ruim openstaande glimmende blouse rent het toneel op, hand in hand met een oogverblindende vrouw in iets badpak-achtigs. De man jongleert wat met de borden die hem door de vrouw worden aangereikt, neemt een stok en laat daarop een bord ronddraaien, waarna hij de stok met het draaiende bord op zijn voorhoofd balanceert. Het wordt donker, de spotlights richten zich op de rij stokken, tromgeroffel zwelt aan. De man neemt een bord, laat het draaien op zijn vinger en zet het over op de meest rechtse stok. Dit herhaalt zich tot een groot aantal borden draait op een stok. Dan echter begint het meest rechtse bord angstwekkend te zwabberen. De man ziet dit, gealarmeerd door het publiek, net op tijd en brengt het bord weer aan het draaien door de stok heen en weer te bewegen. Op weg naar de stok die als eerste van een nieuw bord moet worden voorzien, geeft hij alle tussenliggende stokken een zwieper, zodat alle borden weer snel ronddraaien. Uiteindelijk, met steeds meer heen en weer keren, heeft hij alle borden aan het draaien. Een donderend applaus is zijn deel.

Ik wil in deze lezing de rol van kwantitatieve modellen en methoden bespreken, in het bijzonder bij het oplossen van logistieke problemen. Hierbij treed ik in het voetspoor van mijn voorgangers Monhemius [1] en Wijngaard [2]. Wat heeft een circusact te maken met het onderwerp van deze lezing? Laat mij dit nader toelichten.

2. Logistiek en draaiende schotels

Logistiek is de discipline die tot doel heeft activiteiten te coördineren in de keten van processen, die grondstoffen omzetten in door de markt gevraagde produkten, en wel op een zodanige manier, dat de kosten die hiervoor gemaakt worden minimaal zijn. Kernwoorden m.b.t. logistiek zijn planning, uitvoering en terugkoppeling. Meerdere processen in de logistieke keten moeten worden gepland, en na uitvoering van de planning worden de resultaten teruggekoppeld, opdat een nieuwe adequate planning kan worden gemaakt. Zie hier de analogie met onze circusact. De artiest heeft gepland alle borden op de stokken te laten draaien. Hij voert deze planning uit, maar krijgt teruggekoppeld dat de borden eraf dreigen te vallen. Hierop past hij zijn planning aan en zorgt ervoor dat hij, naast het opzetten van nieuwe borden, ook tijd plant om reeds opgezette borden af en toe een zwieper te geven. Het uiteindelijk draaiende krijgen en houden van alle borden is een complexe taak. Alle deeltaken moeten goed uitgevoerd worden, anders kan de hoofdtak niet uitgevoerd worden.

In de logistiek geldt hetzelfde. In een logistieke keten moeten enorm veel taken uitgevoerd worden en al deze taken moeten tot een goed einde worden gebracht, wil er een produkt aan de klant kunnen worden verkocht. Er zijn vele parallellen te trekken tussen de circusact en logistiek, c.q. logistieke besturing. De analogie die ik hier wens te benadrukken is, dat het zowel in de logistiek als bij de circusact om de details gaat. En dat op detailniveau afwegingen moeten worden gemaakt om het gehele proces adequaat te kunnen uitvoeren. Voor de logistieke praktijk geldt in het bijzonder dat logistieke concepten, waarover straks meer, pas daadwerkelijk bruikbaar zijn, wanneer ze in detail zijn doordacht in relatie tot de

praktische situatie waarop ze worden toegepast. Deze stelling wordt onderbouwd door aanzienlijke aantallen mislukte implementaties en herimplementaties van nieuwe logistieke concepten en daaraan gerelateerde informatiesystemen [3].

3. Kwantitatieve modellen en -technieken en draaiende schotels

Hoewel niet zo voor de hand liggend als bij de logistiek is er ook een analogie tussen de schotelact en Operations Research (OR), het gebied binnen de wiskunde dat zich richt op het ontwikkelen van methoden en technieken die kunnen worden gebruikt bij het oplossen van praktische problemen. OR is ongrijpbaar. Zo ongrijpbaar dat het nog steeds moeite heeft zich een vaste plaats te veroveren tussen de in de praktijk toegepaste wiskundige technieken als statistiek of regeltechniek. Op de oorzaken hiervan kom ik in het vervolg nog terug.

OR is ongrijpbaar, zelfs voor de beoefenaar in de praktijk. Ongrijpbaar, omdat de verscheidenheid aan modellen en technieken binnen de OR oneindig groot is. Oorzaak hiervan is de oneindige verscheidenheid aan praktische problemen, waarmee de OR-wetenschappers zich beziggehouden hebben en nog bezighouden. Deze problemen hebben aanleiding gegeven tot het ontstaan van deelgebieden van de OR als combinatoriek, algemene waarschijnlijkheidsrekening, wachtrijtheorie, voorraadtheorie en statistiek. Statistiek wordt overigens vaak als aparte discipline gezien op grond van status als wijdverbreid toegepast wiskundige techniek. Als toepasser van OR in de praktijk voel ik me dan ook vaak de circusartiest, die in plaats van schoteltjes aan het draaien allerlei modellen en technieken bruikbaar moet maken. Alleen als al de gebruikte modellen en technieken op de juiste manier worden toegepast, kan de OR-inbreng een belangrijke bijdrage leveren aan de oplossing van een praktisch probleem.

Zie hier de situatie van iemand die zich bezighoudt met het toepassen van OR op de logistiek. Het praktische probleem bestaat uit het coördineren van een groot aantal, vaak heel verschillende, deeltaken, zoals inkoop, fabricage, assemblage, distributie en verkoop. Bij het toepassen van OR wordt gebruikgemaakt van tal van modellen en technieken. Hiermee levert de OR een bijdrage aan de ontwikkeling van in de logistiek bruikbare coördinatieprincipes. Bovendien geven OR-modellen kwalitatief, maar vooral kwantitatief inzicht in de relaties tussen de eerder genoemde deeltaken in de logistieke keten. Met behulp van dit inzicht kan voor een specifieke situatie worden vastgesteld welk coördinatiemechanisme van toepassing is. Daarna kunnen op basis van de kwantitatieve inzichten de besturingsparameters worden vastgelegd. Ter illustratie diene het volgende klassieke voorraadbeheersingsprobleem. Een groothandel levert uit voorraad aan zijn klanten en betreft zijn producten bij een leverancier. Hij vraagt zich af of hij in vaste hoeveelheden moet bestellen of op vaste tijdstippen. Met behulp van OR kunnen deze situaties worden gemodelleerd en kan de afweging worden gemaakt op basis van kosten en klantenservicecriteria.

4. Afwegen: de trade-off

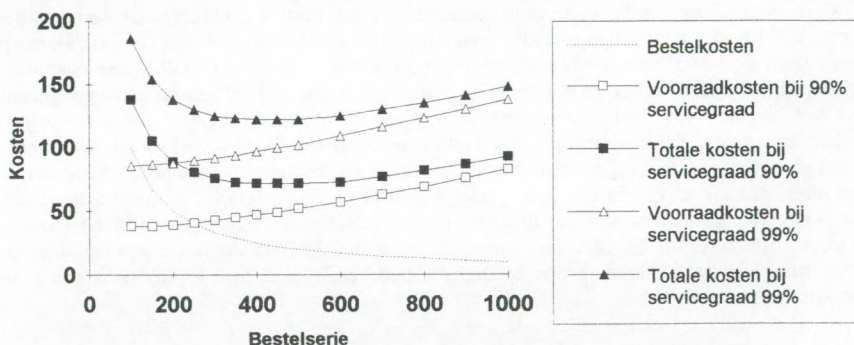
Dit voorbeeld is niet toevallig gekozen. Naast een basisprobleem uit de logistiek schetst het ook een essentieel aspect van probleemoplossing: de afweging ofwel het veelgebruikte Engelse woord: de trade-off. In dit geval gaat het om de afweging van een aantal verschil-

lende aspecten:

- klantenservice
- boetekosten
- voorraadkosten
- bestelkosten
- transportkosten
- informatiekosten

Een hoge klantenservice en lage boetekosten worden gerealiseerd door het aanhouden van veel voorraad. Dit leidt echter tot hoge voorraadkosten. Grote series hebben een gunstig effect op de bestelkosten, transportkosten en informatiekosten, maar leiden ook tot hoge voorraadkosten.

Trade-off tussen servicegraad, voorraadkosten en bestelkosten



Bij vaste besteltijdstippen, bijvoorbeeld elke maandag, kunnen bestellingen door een informatiesysteem in batch worden gegenereerd. Dit is in het algemeen goedkoper qua computerkosten dan het on-line genereren van bestellingen, zoals bij variabele besteltijdstippen, die optreden wanneer men kiest voor vaste bestelhoeveelheden. Een vaste bestelhoeveelheid, bijvoorbeeld een geheel aantal verpakkingseenheden, heeft daarentegen weer een positief effect op de bestel- en transportkosten. Kortom, bij een eenvoudige situatie als hier geschetst, moeten er al veel verschillende aspecten met tegengestelde kostenimplicaties tegen elkaar worden afgewogen. Hier helpt kwalitatief inzicht niet verder. Een trial-and-error aanpak kan uiteindelijk leiden tot een oplossing, maar zal in een dynamische situatie voortdurend achter de feiten aanlopen. Een kwantitatief model expliciteert de relaties tussen de verschillende aspecten en stelt in staat voor een gegeven situatie tot een verantwoorde keuze te komen. Ik vermijd hierbij bewust het woord "optimaal", omdat zulks alleen binnen de modelsituatie bestaat, maar niet, althans niet aantoonbaar, in de werkelijkheid. Vaak is nog belangrijker, dat het kwantitatieve model inzicht kan geven in het effect van acties, casu quo verbeteringen, zoals verkorting van levertijden, betere voorspellingen van de vraag, marktconcentratie, introductie van een nieuw magazijnlokatiesysteem. Al naar gelang het aantal en de aard van de aspecten van het probleem die relevant zijn, wordt het model complexer. In het vervolg wil ik nog kort stilstaan bij het modelleren van de werkelijkheid. Op dit moment is slechts van belang dat een kwantitatief model relaties tussen verschillende aspecten, casu quo parameters, expliciteert, waarna modelanalyse leidt tot het

voorspellen van de prestatie van het geanalyseerde systeem, uitgedrukt in aantal, kosten, tijd of anderszins, gegeven bepaalde keuzes voor de parameters. Eventueel kan binnen het model worden geoptimaliseerd zodat de optimale waarden van een aantal parameters kunnen worden bepaald. Mijn stelling is dat deze aanpak binnen de logistiek meer aandacht verdient. Het heeft te maken met mijn overtuiging dat het om de details gaat. In deze context: alleen kwalitatieve inzichten, concepten, zijn niet genoeg. Belangrijker is de operationalisering ervan, dat wil zeggen de kwantitatieve vertaling van zo'n concept in praktisch bruikbare beheersregels. Ter illustratie: Het Beheersing Werklast concept, zoals ontwikkeld door Bertrand, Wortmann e.a. [4], is pas operationeel als is vastgesteld wat voor een gegeven situatie de bovengrens is van de hoeveelheid onderhanden werk in de beschouwde produktie-afdeling. De bepaling van deze bovengrens kan zeer wel geschieden met behulp van een kwantitatief model van de produktie-afdeling. Bij het doorrekenen van het model wordt gebruikgemaakt van wachtrijtheorie. Bij dit soort produktie-systemen kan in plaats van een mathematische analyse ook discrete simulatie worden toegepast. Overigens is het bij discrete simulatie van belang de gevonden resultaten statistisch te verantwoorden. Moeiteloos zou een boek geschreven kunnen worden met de titel "How to lie with discrete simulation".

Soms blijkt uit een detailstudie dat een logistiek concept niet past bij een specifieke situatie. Dit bleek bij de implementatie van de principes van levertijdverkortening bij de gloeilampensector bij Philips enige jaren geleden. Teneinde sneller op marktschommelingen te kunnen reageren en pijplijnvoorraden te reduceren, werd geëist dat iedere schakel in de logistieke keten binnen 5 dagen iedere behoefte van zijn klant kan leveren. Dit principe leidde binnen de gloeilampenfabrieken van Philips tot creatieve oplossingen van de problemen die deze eis met zich meebracht. Zo werd bijvoorbeeld een stempelcentrum gerealiseerd. In dit stempelcentrum worden ongestempelde gloeilampen opgeslagen. Pas op het moment dat een klantenorder of aanvulorder vanuit een verkooporganisatie wordt geplaatst bij het stempelcentrum, worden gloeilampen voorzien van het juiste stempel, bijvoorbeeld Albert Heijn, en uitgeleverd.

Aan het begin van de logistieke keten van gloeilampen zitten producenten van wolframdraadjes en glasbollen. De producent van glasbollen zag zich geconfronteerd met een geëiste levertijd van 5 dagen in plaats van de tot dan toe gebruikelijke 4 weken. Het produktieproces van glasbollen is extreem efficiënt, maar daarmee ook zeer inflexibel. Investerings in flexibiliteit zouden onverantwoorde kosten met zich meebrengen. In de bestaande situatie werd dan ook op voorraad geleverd, maar men kon door de levertijd van 4 weken de voorraad beperkt houden tot 100 miljoen stuks. De eis van Philips zou dus leiden tot nog hogere voorraden en wellicht een inefficiënter gebruik van de produktiemiddelen, waardoor minder zou worden geproduceerd en verkocht. Met behulp van een OR-model werd de situatie geanalyseerd en werd een aantal scenario's doorgerekend. De eis van Philips bleek te leiden tot een voorraadverhoging van 20%. De analyse gaf ook aan dat wanneer Philips van te voren enigszins betrouwbare orderoriëntaties zou doorgeven de voorraad juist naar beneden zou kunnen. Door informatieuitwisseling wordt zo integratie langs de keten bereikt. De levertijdverkortening was bedoeld om de keten reactiever te maken, maar zonder uitwisseling van informatie kon dit in dit geval alleen door voorraadverhoging. Hiermee wordt dan het tegendeel bereikt van datgene wat men beoogt, namelijk voorraadreductie. De OR-analyse heeft niet alleen antwoord gegeven op de vraag, hoeveel de voorraad moet worden verhoogd, maar ook aangegeven wat voor informatie nodig is om kostenneutraal of goedkoper te kunnen werken.

Dames en heren,

Wanneer ik stel dat het binnen de logistiek om de details gaat, bedoel ik te zeggen dat binnen ieder concept afwegingen moeten worden gemaakt, die vaak ook concessies zijn aan de grondgedachte van het concept. Dit kan leiden tot heftige meningsverschillen met aanhangers van zo'n concept of filosofie. Juist binnen de logistiek en meer algemeen, binnen het "Operations Management" zijn er een aantal concepten en fervente aanhangers van deze concepten, die bij iedere aantasting van de grondgedachte op hun achterste benen staan. In het licht van mijn stelling is het dus op zijn plaats om een aantal van deze logistieke concepten te bespreken en te bespreken.

5. Material Requirements Planning (MRP)

Aan het eind van de jaren '70 is, met name door Joseph Orlicky [5] en Oliver Wight [6], het Material Requirements Planning (MRP I) concept gepropageerd. De kern van het MRP concept is de materiaalbehoefteberekening in een assemblagesituatie. Bij het assembleren van een produkt is exact bekend hoeveel componenten er nodig zijn in dit produkt. Een fiets heeft twee wielen, één stuur, twee trappers, etc. Wanneer ik weet dat ik de komende week 100 fietsen moet maken, moet ik zorgen dat ik deze week 200 wielen maak. Zo'n relatie tussen een fiets en zijn wielen is een afhankelijkheid. De behoefte aan wielen is een afhankelijke behoefte, die éénduidig volgt uit de behoefte aan fietsen. Ook geldt bij dit voorbeeld dat men eerst, nl. een week eerder, wielen moet maken om de week daarna fietsen te kunnen maken. Dit voorbeeld illustreert de twee pijlers van MRP.

- de afhankelijke behoeften van componenten, die volgen uit de produktstructuur
- de tijdsfasering van behoeften.

Het concept was niet nieuw, maar tot de komst van de computer onuitvoerbaar. Vandaar dat tot dan toe de planning van productie en inkoop per component of subsamenstelling werd gedaan m.b.v. zogenaamde SIC (Statistical Inventory Control)-systemen. Men gebruikte kaartenbaksystemen, waarop de voorraad werd geregistreerd per component of subsamenstelling en een bestelling werd gegenereerd als de voorraad beneden een voorgeschreven bestelpunt kwam. Het moge duidelijk zijn dat van enige coördinatie van bestellingen geen sprake was. Het gebrek aan coördinatie werd dan ook betaald door extra hoge voorraden.

Met de invoering van het MRP-concept verwachtte men dan ook aanzienlijke reductie van materiaalvoorraden en onderhanden werk. Dit viel in de praktijk nogal tegen. Door het enorm aantal implementaties van MRP-systemen is een helder beeld ontstaan van de kritische succesfactoren, zoals

- management commitment bij uitvoering
- grote discipline om de gegevens betrouwbaar te krijgen en te houden
- simplificatie van processen en procedures
- opleiding
- de Hoofd Productie Plannings-functie (HPP); de afspraak tussen productie en verkoop over wat er geproduceerd moet worden.

Bij de bovengenoemde vijf kritische succesfactoren ontbreekt een factor die ik zou willen omschrijven als

- adequate parametrisatie.

Een MRP-systeem beschrijft de wereld als volledig deterministisch. De doorlooptijden van deelprocessen worden constant verondersteld. In werkelijkheid zijn deze doorlooptijden variabel, met name levertijden van componenten en doorlooptijden van afdelingen met een beperkte capaciteit of storingsgevoelige produktiemiddelen. Deze variabiliteit wordt doorgaans opgevangen door een overschatting te gebruiken van de gemiddelde doorlooptijd, een parameter, leidend tot ongeplande voorraden. In andere situaties worden buffervoorraden, ook parameters, expliciet gepland. Doordat MRP juist is bedoeld om complexe assemblageprocessen te plannen, is het vaak moeilijk vast te stellen wat de effecten zijn van de gekozen overschattingen van doorlooptijden en wat de effectiviteit is van de geplande buffervoorraden. In veel gevallen leidt dit tot onnodig hoge voorraden, waarmee de oorspronkelijke doelstellingen, voorraadreductie, teniet wordt gedaan. Een ander gevolg van het deterministische wereldbeeld van MRP is de gevoeligheid voor kleine afwijkingen tussen planning en realisatie. Kleine afwijkingen in gerealiseerde productie kunnen leiden tot grote wijzigingen in de planning, zoals het uitstellen of vervroegen van grote orders. Door Van Donselaar [7] is uitgebreid deze nervositeit onderzocht en zijn oplossingen aangedragen. Bij dit onderzoek is o.a. teruggegrepen op beheersingsconcepten als base stock control, die ontwikkeld zijn vanuit de OR.

Belangrijk is ook dat logistieke beslissingsondersteunende besturingssystemen als MRP alleen werken wanneer de door het systeem gegenereerde adviezen grotendeels worden opgevolgd. Wanneer ieder voorstel van het systeem wordt overschreven door een planner, zal het systeem bij de eerstvolgende planning conform de ingebouwde logica trachten deze beslissing te neutraliseren. Het systeem keert zich dan tegen de planner. Bij MRP-systemen leidt dit tot

- grote hoeveelheden output in de vorm van signaallijsten
- inconsistenties, omdat de planner geen tijd heeft de consequenties van al zijn acties te overzien.

Kort gezegd, MRP-systemen moeten in principe 95% van het werk overnemen, de resterende 5%, de belangrijkste en moeilijkste, worden door de planner uitgevoerd.

Met dit in het achterhoofd wordt duidelijk hoe belangrijk de parametrisatie van een MRP-systeem is. Indien de parameters, zoals

- produktieseriegroottes en bestelhoeveelheden
- doorlooptijden
- veiligheidsvoorraden

onjuist worden gekozen, kan de 95-5 balans niet worden bereikt. Immers, bij onjuiste parametrisatie worden onjuiste beslissingen door het systeem genomen. Dit wordt onderkend door een planner en deze zal actie moeten ondernemen tegen het systeem. De gevolgen heb ik reeds geschetst.

OR-modellen kunnen helpen bij het adequaat parametriseren van een MRP-systeem. Via modellen van de onderliggende processen kunnen doorlooptijden en hun variabiliteit worden geschat. Vervolgens kan men het model dat in wezen door het MRP-systeem wordt gehanteerd, analyseren. Door het uitvoeren van zo'n modelstudie worden doorgaans ook tal van andere eigenaardigheden, zoals onjuiste produktstructuren, onderkend. Op deze wijze wordt fundamenteel inzicht verkregen in de complexiteit van de besturing en op welke wijze deze complexiteit door focusering kan worden gemanaged. De haalbaarheid en wenselijkheid van deze aanpak is aangetoond in verscheidene consultancy projecten, waarover in de vakliteratuur is gerapporteerd.

6. JIT: eliminatie van verspilling

MRP is een concept dat is ontwikkeld en gepropageerd door de Engelstalige logistieke gemeenschap, gebundeld in APICS en BPICS. Het falen van het MRP-concept werd in eerste instantie geweten aan de fout dat onvoldoende rekening gehouden werd met capaciteitsbeperkingen. Dit leidde tot het zogenaamde MRP-II concept, waarbij MRP staat voor Manufacturing Resource Planning, ook wel closed-loop MRP genoemd. Dit concept houdt ook veel meer rekening met de eigenheid van een situatie, maar vereist dan ook voor iedere situatie een andere aanpak.

Terwijl men in de Verenigde Staten MRP oplapte, vond het Japans economisch wonder plaats. Nieuwsgierig naar de achtergronden van dit succes bezochten grote aantallen Westerse wetenschappers, consultants en managers Japanse bedrijven als Toyota, Kawasaki en Sony. Verbijsterd stelde men vast dat de produktiemethoden niet bijzonder geavanceerd waren, maar wel tot op het bot geanalyseerd en versimpeld. Beroemd werd SMED [8], wat staat voor Single Minute Exchange of Die, een methode om te komen tot drastische omsteltijdreductie. Het overall concept werd Just-In-Time, kortweg JIT, genoemd. Door de nadruk te leggen op flexibele produktiemethoden werd het produceren van kleine series volgens het lopende band principe à la Henry Ford mogelijk. Hierdoor werd de planning van deze processen enorm versimpeld. Planning en uitvoering werden geïntegreerd d.m.v. een kaartsysteem genaamd Kanban. Hierbij is het alleen toegestaan een produktie-serie te produceren als er een of meerdere produktiekaarten aanwezig zijn op de werkplek. Zodra een serie is geproduceerd, wordt zo'n produktiekaart met de serie meegestuurd. De kaart komt pas terug wanneer deze serie door de volgende produktie-eenheid is verwerkt. Op deze eenvoudige wijze worden de produktiesnelheden in de verschillende fasen op elkaar afgestemd en wordt ook voorkomen dat er, zoals in het Westen gebruikelijk, doorgeproduceerd wordt terwijl er geen behoefte aan produktie is. Hierdoor wordt de voorraad onderhanden werk beheerst en daarmee de doorlooptijden in produktie. Deze aanpak werd omarmd door APICS en vele publikaties volgden onder auspiciën van APICS, zoals die van Hall [9] en Schönberger [10].

Wanneer men deze boeken nauwkeurig leest, komt men echter tot de conclusie dat ook het JIT-concept uitgaat van een volledig deterministisch wereldbeeld. Wat pleit voor JIT is dat een proces van continue verbetering in kleine stappen wordt nagestreefd dat moet leiden tot dit beeld van volledige beheersing van de produktie. Wat helaas buiten beeld valt in veel boeken over JIT is het marktgedrag. Zo stelt bijvoorbeeld Hall [9] dat produktieniveaus en produktiemixen voor ten minste één maand worden gefixeerd. Binnen de vastgestelde mix wordt getracht zeer kleine series te produceren welke leiden tot dezelfde mixverhoudingen per

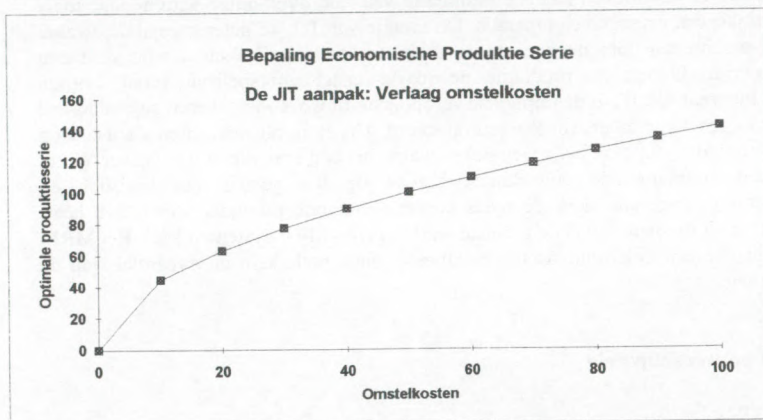
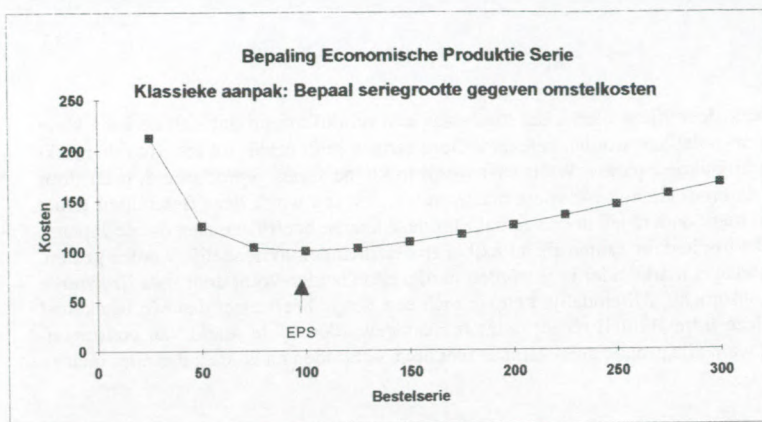
uur, dag en week. Idee hierachter is dat door vaak een produkt te produceren de kans klein wordt dat de markt niet kan worden belevend. Deze aanpak leidt echter tot een voor de markt zeer inflexibel produktieapparaat. Weliswaar wordt in kleine series geproduceerd, maar door de fixatie van de produktiemix meerdere maanden van tevoren wordt deze flexibiliteit teniet gedaan. Recent marktonderzoek in een aantal Europese landen heeft laten zien dat de Japanse consumentenelektronicafabrikanten als inflexibel en detailhandelonvriendelijk worden gezien. Dat Sony desondanks marktleider is geworden in diezelfde landen komt door haar ijzersterke imago bij de consument. „Uiteindelijk koop je toch een Sony” heeft meer dan één betekenis! Overigens is deze inflexibiliteit recent oninteressant geworden in de markt van consumentenelektronica, want alle producenten kampen met hoge voorraden en kunnen dus alles meteen leveren.

De kracht van JIT is het streven naar de eliminatie van alle overbodige activiteiten, zoals omstellingen, transport, inspectie en reparatie. De zwakte van JIT, of beter gezegd de zwakte van JIT zoals beschreven door de goeroes, is de inherente inflexibiliteit, omdat voor een optimale uitvoering binnen de produktie de markt exact voorspelbaar moet worden verondersteld. Inherent aan JIT is de impliciete veronderstelling dat wat gisteren geproduceerd is ook nu en morgen weer moet worden geproduceerd. Het is in dit licht interessant om op te merken dat inmiddels Japanse bedrijven deze zwakte hebben onderkend. De Oliver Wight Companies, een vooraanstaand consultancy bureau op het gebied van logistiek en produktiebeheersing, opgericht door de reeds eerder genoemde uitvinder van MRP, heeft vastgesteld dat op dit moment Japan de grootste markt is voor MRP-systemen [11]. Het MRP-concept gaat uit van een deterministisch wereldbeeld, maar onderkent de dynamiek van de toekomstige vraag.

7. Ideaalbeeld en werkelijkheid

Dames en heren,

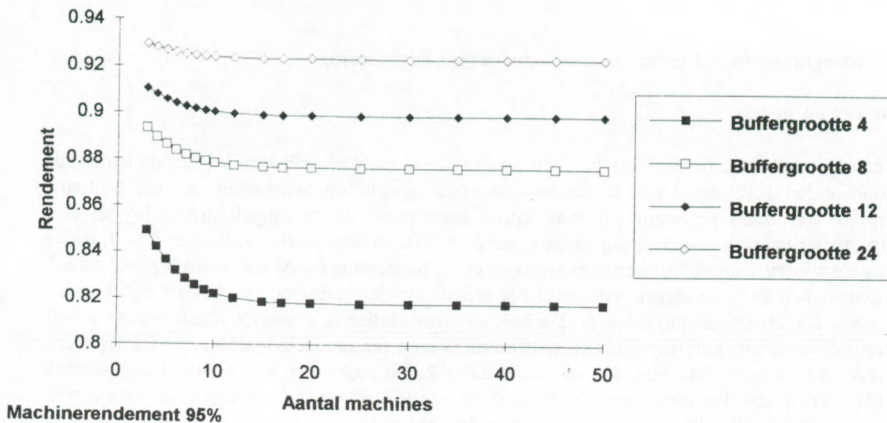
De reden om nogal uitvoerig in te gaan op de twee belangrijkste logistieke concepten van de laatste 20 jaar is dat beide een ideaalbeeld van de produktie- en distributiewereld veronderstellen. Hier tegenover staat de OR-aanpak, die veelal trachtte om vanuit de gegeven werkelijkheid te komen tot "optimale" beslissingen. Dit leidde tot veel, overigens terecht, kritiek, omdat geoptimaliseerd werd binnen gebrekkige modellen van de werkelijkheid en onvoldoende werd uitgegaan van de veranderbaarheid van deze werkelijkheid. Klassiek in dit opzicht is het gebruik van de zogenaamde Economische Produktie-Serie. Deze wordt bepaald op basis van de afweging van omstelkosten en voorraadkosten binnen een overigens ook volledig deterministische context. Omdat in het verleden de omstelkosten vaak hoog waren, resulteerden grote produktieseries. Als we echter omstelkosten als beïnvloedbaar beschouwen, kunnen we exact hetzelfde OR-model gebruiken om te laten zien hoe de optimale seriegrootte zich gedraagt als functie van de omstelkosten. Binnen het JIT-concept gebruiken we dan het OR-model bij de vraagstelling: Wat moeten de omstelkosten, casu quo omsteltijd, zijn, opdat een serie van bijvoorbeeld 10 optimaal is? Een simpele vraagstelling, doch wereldschokkend binnen Operations Management.



Maar laat ik terugkomen op het ideaalbeeld van de volledig voorspelbare en beheersbare werkelijkheid. Deze in mijn ogen saaiere werkelijkheid bestaat, gelukkig dus, niet. Dan gaat het mijns inziens niet aan om, zoals een aantal goeroes impliciet voorstellen, onvoorspelbaarheden te negeren. Juist met behulp van OR-modellen kunnen de concepten worden getoetst op hun robuustheid tegen die verschijnselen die binnen het concept niet worden onderkend.

Dit zou ik willen illustreren door een bespreking van het Zero Stock-concept, wat is afgeleid uit het JIT-concept. Het Zero-Stock concept houdt in dat tussen de afzonderlijke stappen in het productieproces geen tussenvoorraden mogen worden gepland, zodat problemen in de productie direct zichtbaar worden. Zo gauw er een produktiestap stopt, vallen omliggende stappen eveneens stil als gevolg van gebrek aan input en blokkering. Zo'n aanpak is vanuit een procesverbeteringsoogpunt aanbevelenswaardig, ware het niet dat er bij een nog onvoldoende beheerst proces geen product meer uit het proces komt. Ook hier moet gezocht worden naar het compromis en een afweging gemaakt worden tussen het ultieme doel, een volmaakte flow in het productieproces, en de gewenste output. OR-modellen kunnen deze afweging zichtbaar maken. Bovenstaande situatie kan inzichtelijk worden gemaakt met de volgende figuur.

Rendement van een produktielijn



Hier zien we hoe de output van een produktielijn met gebalanceerde, dat wil zeggen identieke, processtappen zich gedraagt als functie van het aantal machines en het aantal bufferplaatsen tussen de processtappen om storingen op te kunnen vangen. We zien hoe het toepassen van slechts een gering aantal bufferplaatsen reeds een zeer groot effect heeft, zonder dat de hoeveelheid onderhanden werk uit de hand loopt. Vaak blijkt in flowlijnen met automatisch transportsysteem dat door de technische uitvoering 1 of 2 bufferplaatsen beschikbaar zijn, die voldoende zijn voor een adequate buffering.

Wat het toepassen van een OR-model in deze situatie vermag, wordt ook geïllustreerd in deze figuur. We vergelijken de output van een produktielijn met vaste taktijd, of wel harde koppeling, waarbij alle bewerkingen door een overzetmechanisme worden gesynchroniseerd, met de output van een produktielijn waarbij alle bewerkingen onafhankelijk van elkaar worden uitgevoerd en elkaar alleen via blokkeringen of leegloop beïnvloeden. Wijdverbreid in de Operations Management literatuur is de stelling dat de output van een niet-storingsvrije produktielijn naar nul gaat als het aantal processtappen in zo'n lijn toeneemt. Dit geldt echter, blijkens de figuur, alleen voor de produktielijn met vaste taktijd. Bij ontkoppeling van bewerkingen via kleine buffers blijft de output van de lijn nagenoeg constant vanaf 20 processtappen. Dit resultaat is uitermate belangrijk voor het opzetten van productieprocessen met een groot aantal stappen die met name voorkomen in IC-manufacturing, de automobiellindustrie en consumentenelektronica. Met dit inzicht heeft onder andere NedCar zijn voordeel gedaan toen het een beslissing moest nemen bij het toevoegen van een aantal processtappen aan de assemblagelij.

De illustratie van de kracht van een gedegen OR-analyse in een JIT-omgeving zou ik willen besluiten met de stelling dat zo'n gedegen analyse niet hoeft te leiden tot zeer ingewikkelde formules, slechts inzichtelijk voor een expert. De berekeningen die hebben geleid tot de grafiek kunnen op een zakrekenmachine worden uitgevoerd, de onderliggende formules maken direct inzichtelijk welke parameters van een productieproces belangrijk zijn voor de output en hoe zij de output beïnvloeden [12].

8. Afwegingen in het creatieproces: concurrent engineering

Dames en heren,

Tot nog toe heb ik de bijdrage van een kwantitatieve aanpak geïllustreerd aan de hand van voorbeelden gerelateerd aan logistieke concepten gericht op beheersing van het primaire proces "van zand tot klant" of "van korrel tot borrel". Deze aanpak draagt bij tot een effectiever gebruik van deze logistieke concepten. Wat echter steeds duidelijker wordt, is dat de effectiviteit van een voortbrengingsproces en de beheersing hiervan worden bepaald op het moment van het ontwerpen van zowel het proces als de producten, die output zijn van dit proces. De afgelopen jaren wordt dan ook van verschillende kanten aangedrongen op een multi-disciplinaire aanpak bij het ontwikkelproces en meer aandacht voor het productieproces bij de ontwikkeling van een nieuwe productfamilie, het zogenaamde concurrent engineering [13]. De meeste bijdragen met betrekking tot multi-disciplinair ontwerpen en concurrent engineering zijn kwalitatief van aard. Zij benadrukken het belang van de samenwerking tussen mensen van verschillende disciplines, productieve brainstormingstechnieken, project management en het gebruik van informatietechnologie voor het beschikbaar hebben van de juiste informatie op het juiste moment en ontwerpregels leidend tot een logistiekvriendelijk of fabricagevriendelijk product [14]. Vanuit mijn perspectief is er echter nog onvoldoende aandacht voor de inhoudelijke kant van concurrent engineering. Belangrijke vragen zijn: Wanneer moet welke informatie beschikbaar zijn? Welke afwegingen worden gemaakt met betrekking tot welke kosten? Meer concrete voorbeelden van zulke vragen zijn: Wanneer moeten de levertijden van leveranciers bekend zijn? Welke features veroorzaken technische diversiteit? Wat zijn de kosten van een gegeven marktdiversiteit? Wat zijn de verwachte omstelverliezen en beheerskosten, wanneer een aantal producten aan de productfamilie worden toegevoegd?

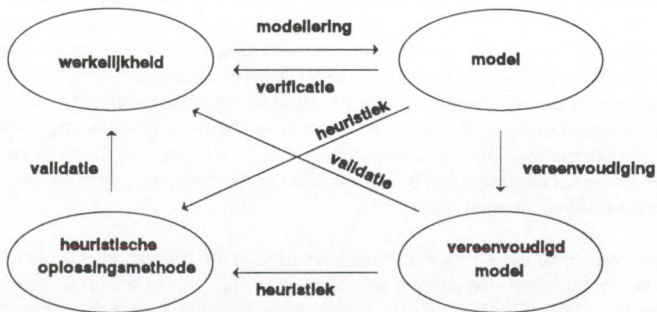
Essentieel is het in kaart brengen van de relevante vragen. Dit kan slechts met behulp van ervaren ontwikkelaars. Maar wanneer de vragen bekend zijn, is het mogelijk het beslissingsproces explicieter te laten verlopen, met name voor productie, logistiek, marketing en verkoop. Om te komen tot een meer gedegen afweging met gebruikmaking van de expertise van meerdere disciplines kunnen OR-modellen worden toegepast.

Het blijkt dat de afwegingen meestal neerkomen op het zich voorstellen wat de implicaties zijn voor het primaire proces. Zoals ik reeds heb betoogd, kunnen OR-modellen worden gebruikt bij het verbeteren van bestaande processen. Maar door de aard van modellen kunnen ze ook worden toegepast op nog niet bestaande processen, waarmee nog niet bestaande producten worden geproduceerd. Ze kunnen ook worden toegepast op momenten dat nog niet alle informatie met betrekking tot proces en product bekend is, zoals bij onvolledige stuklijsten of nog te ontwikkelen processen. In zo'n situatie kunnen deze modellen assisteren bij het specificatieproces. Er is echter nog veel onderzoek nodig om na te gaan of mijn optimistische visie de nodige handen en voeten kan worden gegeven. Mijn optimisme is overigens gebaseerd op praktische ervaring van anderen en mijzelf met het toepassen van OR-modellen bij produkt- en procesontwerp.

9. OR: theorie of praktijk

Dames en heren,

Deze opmerking brengt mij bij een veel bediscussieerd onderwerp: het feit dat OR nog geen vaste voet aan de grond heeft of zou hebben in de praktijk. Ik ben van mening dat deze discussie vooral is beïnvloed door de ontwikkeling die de OR in de jaren 60 en 70 heeft doorgemaakt. In die jaren kwam OR als wetenschap tot bloei, maar verloor haar oorspronkelijke doelstelling, namelijk om bij te dragen tot de oplossing van praktische problemen, uit het oog. Helaas wordt de discussie over OR en praktijk nog steeds gedomineerd door hen die in die jaren teleurgesteld raakten in de praktische toepasbaarheid van OR-onderzoek. De OR-onderzoekers hebben echter niet stilgezeten. Stormachtige ontwikkelingen in de wachtrijtheorie, geïnspireerd door de opkomst van datacommunicatie- en computersystemen en -netwerken hebben geleid tot de ontwikkeling van robuuste benaderingen voor de prestatiekenmerken van dit soort netwerken, zoals responstijd en blokkeringskansen. Deze aanpak blijkt ook van toepassing op produktienetwerken. De voorraadtheorie heeft het mogelijk gemaakt om beslissingen met betrekking tot vraagstukken rond integrale logistiek, zoals de wenselijkheid van Europese distributiecentra, gedegen te onderbouwen. Voor mij is het sleutelwoord in de OR-literatuur van de 80-er jaren de heuristiek. Het loslaten van de exactheid van een resultaat opende de mogelijkheid om te werken aan echte problemen. Om aan te geven hoe een OR-analyse er in de praktijk uitziet, gebruik ik de volgende figuur.



In de eerste fase wordt het probleem uit de werkelijkheid gestructureerd. Dit is een samenspel tussen adviseur en probleemeigenaren. De specifieke bijdrage van de OR is dat er vervolgens een model wordt gemaakt van de werkelijkheid. Dit model moet de belangrijkste aspecten van de problematiek op adequate manier beschrijven. Vervolgens begint de modelanalyse. In sommige gevallen kan het model exact worden opgelost, zoals bij LP-problemen. In de meeste gevallen is dit niet mogelijk. Er zijn nu twee richtingen mogelijk: modelsimplificatie en heuristische analyse. Beide leiden tot een benadering. In de praktijk bestaat de neiging tot verregaande simplificatie. Het resultaat is dat de exacte analyse van het simpele model geen bruikbare resultaten geeft voor het oorspronkelijk model, laat staan voor het praktische probleem. Mijsen inzien is de heuristische analyse veelbelovender. Er worden geen concessies gedaan aan het model, maar aan de exactheid van de mathematische analyse. Op dat moment

blijken tal van asymptotische resultaten bruikbaar in "eindige" problemen. Natuurlijk moet dit gevalideerd worden. Hiervoor zijn verscheidene mogelijkheden, zoals het testen op modellen, waarvoor exacte resultaten beschikbaar zijn. Of discrete simulatie, een aanpak die voor veel moeilijke problemen enig soelaas biedt. Of door directe validatie van de resultaten aan de hand van metingen in de praktijk.

Mijn voorkeur voor een heuristische analyse van een goed model boven de exacte analyse van een te simpel model is gebaseerd op een aantal confrontaties met de laatste aanpak. Als voorbeeld zou ik willen ingaan op het eerdergenoemde probleem van Europese distributie. Hierbij gaat het om de vraag hoeveel voorraadreductie mogelijk is bij het centraliseren van voorraden. Zeer elementaire analyse van zeer elementaire modellen van deze soort situatie leert dat onder een aantal aannamen de veiligheidsvoorraad, de voorraad nodig om onzekerheid in vraag en leveringen op te vangen, in de distributieketen evenredig is met de wortel van het aantal voorraadopunten in de keten. De aannamen zijn echter meestal vergeten, zodat men stelt dat reductie van 9 voorraadopunten naar 1 voorraadopunt leidt tot voorraadverlaging met een factor 3. De aannamen zijn helaas zo beperkend dat deze redenering niet opgaat en zeker niet met betrekking tot de totale distributievoorraad. Het blijkt dat met een iets uitgebreider model op basis van elementaire kansrekening betrouwbare uitspraken kunnen worden gedaan. In een concrete situatie werd hierdoor het enthousiasme voor een Europees distributiecentrum fors getemperd. Maar in een andere situatie was de potentiële voorraadreductie groter dan verwacht en aanleiding tot het vergroten van de uniformiteit van het productenpakket in de verschillende Europese landen.

De complexiteit van de OR-aanpak zit hem met name in de analyse. Zeker wanneer men met heuristieken werkt, weet ook de OR-specialist niet precies wat hem of haar te wachten staat. Het werken met mathematisch correcte resultaten biedt zekerheid, werken met benaderingen vergt durf, gebaseerd op een zeer gedegen mathematische ondergrond. De complexiteit van de modelanalyse is echter niet relevant voor de probleemeigenaar. Wel het model, waarvan moet worden nagegaan of het inderdaad een adequate beschrijving geeft van de werkelijkheid en de ervaren problematiek. De technische details van de analyse zijn niet van belang voor de probleemeigenaren. Natuurlijk wel de uitkomsten van de analyse en de eventuele inzichten die zijn opgedaan tijdens de analyse.

Als we praten over verschil van mening tussen de probleemeigenaren en OR-adviseurs gaat het vaak om de complexiteit van de aanpak. "Keep it simple" is het credo. Ik zou hier liever willen spreken over "Keep it clear". Zoals gezegd moet het model voor de probleemeigenaar verifieerbaar aansluiten bij de problematiek. Maar laat het rekenwerk over aan de expert. Niemand is gebaat bij simpele sommetjes gebaseerd op modellen, die niets meer uitstaande hebben met de werkelijkheid. Mijn eigen ervaringen met een gedegen aanpak hebben geleid tot mijn niet wetenschappelijk te onderbouwen stelling dat de wereld nog altijd mooier in elkaar zit dan je van tevoren denkt.

Om OR en praktijk nader tot elkaar te brengen, moet men elkaar willen en durven verstaan. De OR-wetenschapper en -toepasser moet bereid zijn te luisteren naar de practicus en vooral openstaan voor zijn intuïtie en beslissingslogica. De practicus moet zich durven laten overtuigen, wanneer de hokus pokus van de OR inderdaad leidt tot ook voor hem verifieerbare correcte of tenminste bruikbare resultaten. Als ik nogmaals een circusact mag parafraseren, zou ik het proces van toenadering tussen OR en praktijk willen omschrijven als

een wandeling over een slap koord. Er is een verbinding, maar het overbruggen van de kloof is niet eenvoudig.

10. Onderzoek en onderwijs

Dames en heren,

Ik kom tot het eind van mijn betoog. Ik zou willen afsluiten met het aanduiden van richtingen voor verder onderzoek, zoals volgend uit mijn betoog. Onderzoek, zowel van de leerstoel Industriële Wiskunde als die van Kwantitatieve aspecten van logistieke beheersingssystemen, wil ik richten op het ondersteunen van beslissingen, waarbij afwegingen moeten worden gemaakt tussen conflicterende overwegingen. De kwantificering van relevante aspecten is een essentieel onderdeel van dit onderzoek. Meer in het bijzonder wil ik me richten op de vraag hoe logistieke concepten in concrete situaties moeten worden toegepast met oog voor de realiteit. Vanuit mijn Philips-achtergrond zal ik mij in de eerste jaren vooral richten op de groot-serie assemblage, een terrein waar met name door de steeds verdere verkorting van levenscycli de integratie van creatieproces en primair proces van doorslaggevende betekenis wordt. Dit is het tweede aspect van mijn onderzoek: het doorgronden van de beslissingsprocessen binnen ontwikkelingsproces in relatie tot het primair proces en het vervolgens expliciteren van aspecten van deze beslissingsprocessen door het toepassen van kwantitatieve modellen.

Ik beschouw onderwijs als het middel bij uitstek om toekomstige beslissers te winnen voor het gebruik van OR-modellen. Ik stel vast dat in veel onderwijsinstellingen, waaronder ook de TUE, de inhoud van OR-colleges wordt gedomineerd door lineaire programmeringstechnieken en waarschijnlijkheidstheorie van een elementair niveau. Te veel tijd wordt besteed aan de OR-technieken, te weinig aan modellering. Mijns inziens kan door gebruik van PC-software voor het technische werk de aandacht worden verlegd naar het modelleren van reële problemen. Ik zal me dan ook sterk maken voor een intensief gebruik van PC's bij het onderwijs waarvoor ik verantwoordelijk ben. Hierbij zal ik graag gebruik maken van reeds bestaande expertise, zoals binnen de TUE.

Rest mij nog enige woorden te richten tot een aantal mensen en groeperingen.

Heren van het College van Bestuur,

U wil ik danken voor mijn benoemingen. Het is voor mij een grote eer deze functies te vervullen om op die manier inhoud te geven aan het toepassen van wiskunde in de praktijk.

Beste Will, ik constateer dat ik terechtgekomen ben in een stimulerende omgeving, waarin ik jouw organisatietalent en enthousiasme herken. Ik zie vol vertrouwen uit naar een verdere verdieping van onze samenwerking.

Veel dank ben ik verschuldigd aan mijn leermeester Henk Tijms. Van hem heb ik geleerd dat inzicht in de basismodellen uit de wachtrijtheorie en voorraadtheorie voorwaarde is voor een gedegen analyse van complexe systemen. Het geld ligt inderdaad op straat.

Geachte ex-collega's van het CQM. In uw omgeving is voor mij de industriële wereld op zodanige wijze ontsloten dat de overgang van universiteit naar Philips-praktijk onverwacht soepel verliep.

Mijn oud-medestrijders van Philips CE Logistics dank ik voor de onderlinge verbondenheid in een niet altijd even makkelijke, maar uiterst leerzame periode. Ik heb het zeer op prijs gesteld, dat mij in roerige tijden de ruimte werd gegeven voor een deeltijdshoogleraarschap op een vakgebied dat voor velen binnen CE onbekend is.

Leden van de vakgroep Logistieke Beheersingssystemen. Reeds nu al verheug ik mij in een nauwe samenwerking met een groot aantal van u. Ik vraag u om begrip voor mijn soms wat ongebreidelde enthousiasme.

Leden van de vakgroep Besliskunde en Stochastiek. Het is vertrouwd om tussen vakgenoten te staan. Ik hoop door mijn intermediair-functie onderzoek te stimuleren naar praktisch relevante en voor OR-onderzoekers uitdagende vraagstukken. Naar mijn overtuiging zijn we op de goede weg.

Leden van de faculteit Technische Bedrijfskunde. Al maak ik pas kort deel uit van uw groepering, toch voel ik me al thuis. Ik ervaar de open en directe communicatie als een verademing en stimulans voor onderzoek over grenzen heen.

Leden van de faculteit Wiskunde en Informatica. U ben ik een excuus verschuldigd. U wierf een man met 4 benen in de praktijk, maar binnen een jaar had ik geen praktijkpoot meer om op te staan. Ik dank u voor het vertrouwen dat in mij is gesteld om verder vorm te geven aan de leerstoel Industriële Wiskunde.

Studenten van de faculteiten Technische Bedrijfskunde en Wiskunde en Informatica, hier staat een docent die vanuit een zekere bevlogenheid voor zijn vak een boodschap tracht over te brengen. Ik zal me sterk maken om bij u, al is het maar voor een deel, deze bevlogenheid over te brengen.

Familie, vrienden en kennissen, u allen heeft een aandeel gehad in mijn vorming tot degene die ik nu ben. Ik ben u daarvoor zeer dankbaar.

Ik stel vast, dat ik nog heel wat schoteltjes op stokken moet zetten voor de hele zaak draait. Ik dank u voor uw aandacht.

Referenties

- [1] Monhemius, W., 1989, Nogmaals de wiskunde als ondersteunende wetenschap voor de bedrijfskunde, Afscheidsrede Technische Universiteit Eindhoven.
- [2] Wijngaard, J., 1983, Kwantitatieve methoden bij de bedrijfsvoering, Intreerede Technische Universiteit Eindhoven.
- [3] Aggarwal, S.C., 1985, MRP, JIT, OPT, FMS?, Harvard Business Review, 8-16.
- [4] Het Beheersing Werklast concept wordt toegelicht in: Bertrand, J.W.M., Wortmann, J.C. en Wijngaard, J., 1990, Produktiebeheersing en materials management, Stenfert Kroese, Leiden.
- [5] Orlicky, J., 1975, Material Requirements Planning, McGraw-Hill, New York.
- [6] Wight, O.W., 1974, Production and Inventory Management in the Computer Age, CBI Publishing Company, Boston.
- [7] Van Donselaar, K., Material Coordination under Uncertainty, proefschrift TUE, 1989.
- [8] Shingo, S., 1981, Study of Toyota Production System, Japan Management Association.
- [9] Hall, R.W., 1983, Zero Inventories, Dow Jones-Irwin.
- [10] Schönberger, R.J., 1982, Japanese Manufacturing Techniques, The Free Press.
- [11] Davies, G., 1992, mededeling gedaan tijdens een cursus over DRP-systemen.
- [12] De Kok, A.G., 1990, Computationally efficient approximations for balanced flowlines with finite intermediate buffers. I.J.P.R. 28, 401-419.
- [13] Nevins, J.L., et al., 1989, Concurrent design of products and processes: a strategy for the next generation in manufacturing, McGraw-Hill, Londen.
- [14] Halbmeijer, E.P., 1989, Logistiek vriendelijk ontwerpen, rapport werkgroep NEVEM.

Programmatuur-besprekingen

Redactie:

J.G. Bethlehem
Centraal Bureau voor de Statistiek
Hoofdafdeling Automatisering
Postbus 959
2270 AZ Voorburg
telefoon 070 - 3374995

De in deze rubriek opgenomen besprekingen hebben ten doel de lezer te informeren over statistische programma's en pakketten die mogelijk voor een breed statistisch publiek zinvol en bruikbaar kunnen zijn. Bijdragen voor deze rubriek mogen de 12 pagina's niet overschrijden. Op z'n minst moeten in een bespreking de volgende zaken aan de orde komen:

1. Administratieve gegevens: naam, versienummer, maker, importeur, prijs.
 2. Technische gegevens: type machine, vereist geheugen, harde schijf wel of niet nodig, omvang bestanden.
 3. Statistische inhoud: mogelijkheden, kritische beoordeling.
 4. Bewerking van gegevens: mogelijkheden, koppeling met andere pakketten.
 5. Gebruikersvriendelijkheid: stuurtaal (menu/commando), helpschermen, dokumentatie.
- Bijdragen voor deze rubriek kunnen worden gestuurd naar bovengenoemde redacteur van deze rubriek.

Ook producenten en verkopers van statistische programmatuur kunnen hun producten ter evaluatie aanbieden.