

OPERATIONELE RESEARCH:  
BEGIN VAN HET EINDE  
OF.....  
EINDE VAN HET BEGIN?

Inaugurele rede uitgesproken bij  
de aanvaarding van het ambt van  
buitengewoon lector in de  
Optimaliseringstechnieken aan de  
Landbouwhogeschool te Wageningen  
op 14 september 1978

door

Dr. P. van Beek

## Dames en Heren,

Het is nog niet zo heel lang geleden dat het woord "optimaal" exclusief was voorbehouden aan bepaalde kringen binnen de toegepaste wiskunde en econometrie.

Tegenwoordig lijkt het erop of onze Nederlandse taal een stopwoordje rijker is geworden en, wat erger is, dit wordt bijna nooit in de korrekte betekenis gebruikt. Horen wij immers niet vaak zinsneden als "dit is wel het meest optimaal" of "kan dit niet wat optimaler"?

Men verliest hierbij twee essentiële zaken uit het oog. In de eerste plaats wordt hierbij niet gezegd aan welk criterium dit optimaal gerelateerd wordt en in de tweede plaats heeft "optimaal" de betekenis van het best mogelijke, waardoor de comparatieve of superlatieve versie van het woord "optimaal" enigszins lachwekkend overkomt.

De mens streeft naar optimaliteit en behaalt daarbij in de praktijk dikwijls povere resultaten. Ten dele is dit een gevolg van het feit dat het begrip "optimaal" vaak onvoldoende expliciet is. Ook komt het voor dat optimaliteit zelf goed gedefinieerd is, maar dat het optimum pas kan worden bereikt na een ideale samenwerking van meerdere personen. Aangezien dit laatste zelden of nooit gebeurt, komt men dikwijls ver van een optimale situatie uit.

## Definitie Operationele Research

Na dit aanloopje, dat tot doel had te illustreren dat men in het algemeen slechts een vage notie van optimaliteit heeft, zal ik mij nu gaan bezighouden met het vakgebied Operationele Research (afgekort OR), waarin dit begrip "optimaliteit" een centrale rol speelt.

Andere namen voor OR zijn: Management Science, Besliskunde, Operationele Analyse en Operations Research. Aan de Landbouwhogeschool heeft men de voorkeur gegeven aan de benaming "Optimaliseringstechnieken".

De definities van OR lopen sterk uiteen. Een zeer bekende, maar ook zeer kryptische, is afkomstig van Saaty, een OR-beoefenaar van het eerste uur: *"Operations Research is the art of giving bad answers to problems to which otherwise worse answers are given"* (Saaty [1959]).

Een korte definitie geeft Müller-Merbach: *"Operations Research ist die Lehre der quantitativen Entscheidungsvorbereitung"* (Müller-Merbach [1977]).

Met de grote nadruk op het bijvoeglijke naamwoord *kwantitatief* ben ik het echter oneens. Ik zal hierop later in deze rede nog terugkomen.

Ikzelf geef de voorkeur aan de volgende definitie: *"Operationele Research levert het gereedschap met behulp waarvan een beslisser in staat is de kwaliteit van zijn beslissingen te verbeteren door analyse van de omgeving waarvoor de beslissing relevant is"*.

Vaak overkomt het mij dat iemand mij vraagt waar OR zich nu eigenlijk mee bezighoudt. Het voorbeeld dat ik dan soms geef is afkomstig van Knödel (Knödel [1960]).

Een grote suikermaatschappij met diverse fabriekagebedrijven besloot te onderzoeken of het transport naar de afnemers wel zo goedkoop mogelijk plaatsvond. Om hier inzicht in te verkrijgen maakte men een *model*, d.w.z. men probeerde het transportgebeuren – hoeveel moet er van welke fabriek naar welke afnemer gestuurd worden – weer te geven door middel van *wiskundige relaties*. Tevens werd in dit model vastgelegd welke doelstelling men wilde nastreven, nl. het minimaliseren van de totale transportkosten. Vervolgens optimaliseerde men de door het model gegeven doelstellingsfunctie, waarbij alle geldende relaties in aanmerking werden genomen. Dit kwam neer op het oplossen van een bekend kostenminimaliseringsprobleem, wat met behulp van een computer geen probleem was. Maar dit was nog niet alles... Nadat gebleken was dat de computer een ander transportschema dan voorheen berekend had, kon de firma meer dan tien procent op transportkosten besparen. Bijzonder fraai was ook dat *alle* kosten voor het opstellen van een nieuw transportschema aan de hand van het model al tien dagen na invoering van dit schema waren terugverdiend.

Dit voorbeeld geeft een aantal zaken duidelijk aan. In de eerste plaats wordt er een *model* van de werkelijkheid gemaakt. Met behulp van wiskundige methoden wordt een *doelstellingsfunctie* geoptimaliseerd, waarbij rekening wordt gehouden met de in het model geldende relaties. Vervolgens worden de uitkomsten van het rekenmodel ter beoordeling voorgelegd aan de beslisser (in het voorbeeld een directie), die de oplossing geheel of gedeeltelijk accepteert. Dit voorbeeld was uitermate gestyleerd en toont slechts enkele essentiële karakteristieken van een OR-toepassing. In de praktijk zal blijken dat veel studies niet tot zo'n gunstig resultaat leiden.

## Historisch perspectief

Het valt niet te ontkennen dat de Operationele Research vooral in de tweede wereldoorlog krachtige impulsen heeft gekregen.

De naam Operationele Research dateert van vlak vóór de tweede wereldoorlog. Het Bawdsey Research Station in Engeland kreeg in 1939 de opdracht te onderzoeken hoe de tijdsduur tussen de eerste radarmelding van vijandelijke vliegtuigen en het moment waarop de Engelse luchtmacht in actie kwam, kon worden verkort. Hierbij werd niet alleen rekening gehouden met technische, maar ook met veel niet-technische aspecten. Zo werd bijvoorbeeld de totale informatiestroom, in gang gezet door een radarmelding, grondig geanalyseerd. Aan dit soort onderzoekingen werd de naam Operationele Research gegeven.

Omdat de militaire operaties met behulp van OR in korte tijd veel efficiënter

en effectiever konden worden uitgevoerd, kreeg de OR een heel eigen gezag. Ik zal u enkele van deze grote successen toelichten.

Toen in het begin van de jaren veertig de geallieerden met grote frequentie groepen bommenwerpers naar het vasteland stuurden, stond één doelstelling centraal: hoe kon de trefkans van een losgelaten bom worden vergroot? Voordien had men hierover nog niet systematisch nagedacht. Maar in 1942 kregen enkele specialisten in het Engelse leger opdracht hiervan een studie te maken en vervolgens aanbevelingen in deze richting te doen. Gevolg van deze aanbevelingen was dat de trefkans, die in 1942 nog minder dan 15% bedroeg, in 1944 tot meer dan 60% kon stijgen. Dit werd als volgt tot stand gebracht. Door de bommenwerpers uit te rusten met kamera's kon men een goed beeld krijgen van de factoren die bepalend waren voor de grootte van de trefkans. Daarbij werden ook gegevens als aantal bommenwerpers per formatie, aantal en soort bommen en weersomstandigheden vastgelegd. Na een grondige analyse van de gemaakte foto's en verwerking van alle overige verzamelde gegevens en inzichten, konden er enkele aanbevelingen worden gedaan. De belangrijkste was dat het praktisch gelijktijdig loslaten van alle bommen door alle bommenwerpers veel effectiever is dan een situatie waarin elke bommenwerper afzonderlijk zijn bommenlast boven het doel loslaat. Verder bleek dat het terugbrengen van het aantal bommenwerpers per formatie van ongeveer vijftientig tot ongeveer veertien de effectiviteit ten zeerste verhoogde. Deze aanbevelingen resulteerden in een verviervoudiging van de bombardementseffectiviteit tussen 1942 en 1944.

OR speelde ook een grote rol bij het bepalen van de optimale zoekroutes voor de vliegtuigen die belast waren met het opsporen van vijandelijke bevoorradingsschepen en onderzeeërs. Met behulp van OR-inzichten kon men de optimale zoekroutes bepalen en aangeven met welke snelheid de patrouillerende vliegtuigen op deze routes moesten vliegen. Hieruit kon men dan, o.a. rekening houdend met het onderhoud van de toestellen, bepalen hoeveel vliegtuigen men nodig had om een bepaald gebied te kunnen bewaken.

Het zal duidelijk zijn dat deze successen het prestige van de Operationele Research zeer ten goede kwamen. Immers in oorlogstijd waren methoden die de effectiviteit van operaties aanzienlijk konden verhogen, zonder meer van levensbelang. Maar ook na de tweede wereldoorlog bleef de OR binnen het militaire ressort een belangrijke rol spelen. Zonder hierbij volledig te kunnen zijn, wil ik u enkele ontwikkelingen noemen. De ontwikkeling van de speltheorie, in het bijzonder de theorie van de differentiaalspelen, maakte het mogelijk *achtervolgingsmodellen* te concipiëren. Met behulp van zo'n model kan men inzicht krijgen in de condities waaronder een achtervolgend vliegtuig zijn "prooi" kan vangen (Vincent [1976]). Verder zijn er ook studies gemaakt van de effectiviteit van de tactieken van

guerrillabewegingen (Deitchman [1962]). Of en in hoeverre deze aanbevelingen ook in een concrete situatie zijn gebruikt is niet helemaal duidelijk. Een groot deel van deze *militaire* OR is ontoegankelijk.

Uit het voorgaande zou men de indruk kunnen krijgen dat OR in of vlak vóór de tweede wereldoorlog is ontstaan. Alleen voor wat betreft de naam is dat juist; in feite werden al ver vóór de oorlog OR-methoden gebruikt. Ook daarvan zal ik u enkele voorbeelden geven.

Bekend is het probleem hoe een optimale bestelserie te berekenen. Een besteller zal in het algemeen niet voor een heel jaar vooruit bestellen, omdat hij dan met een *hoge* gemiddelde voorraad zit. Dit kost hem geld vanwege het geïnvesteerde kapitaal, de opslagruimte en het te lopen risico. Aan de andere kant kan hij ook zeer frequent bestellen. In dat geval krijgt hij gemiddeld een *lage* voorraad, maar zal hij daarentegen *hoge* bestelkosten hebben. De besteller moet nu precies zoveel bestellen, dat er een compromis tussen beide kostensoorten wordt gesloten. Zoals kenmerkend is voor veel OR-problemen, spelen ook hier twee elkaar *tegenwerkende* kostensoorten een rol: de kosten van voorraadhouden worden zo goed mogelijk met de kosten van bestellen gebalanceerd door vaststelling van een *optimale* bestelgrootte.

De oplossing van dit probleem werd in de twintiger jaren gevonden door Andler en Camp in de vorm van een eenvoudige wortelformule (Ander [1927]; Camp [1922]). Bij Philips werd deze formule in de dertiger jaren, samen met andere inzichten uit de voorraadtheorie, op grote schaal door Goudriaan en Cahen gepropageerd, ver vóór de tijd dat OR als naam bestond (Goudriaan en Cahen [1932]).

Een heel ander voorbeeld vindt men in het begin van deze eeuw. De Deense wiskundige Erlang legde in 1908 de grondslag voor wat nu de *wachttijdtheorie* genoemd wordt. Dit is een belangrijke discipline binnen zowel de OR als de kansrekening. Erlang onderzocht de volgende problematiek. Veronderstel dat men bij een telefooncentrale wil berekenen hoe groot de *congestiekans* bij een vast aantal abonnees is. Dit is de kans dat de centrale "vol" is wanneer een abonnee op een willekeurig moment opbelt, zodat de gewenste verbinding op dat moment niet tot stand kan komen. Als er op het moment dat er een oproep uitgaat een lijn beschikbaar is, wordt de betreffende abonnee via deze lijn verbonden en kan het gesprek plaatsvinden. Indien echter alle lijnen bezet zijn, kunnen er twee procedures gevolgd worden: òf de oproepen gedaan in de tijd dat alle lijnen bezet zijn gaan verloren òf deze oproepen worden in een wachtrij geplaatst en moeten wachten tot er weer een lijn vrij komt. Voor het eerste geval kon Erlang de later naar hem genoemde formules afleiden. Met behulp van deze formules is men nu in staat systemen te ontwerpen die aan bepaalde specificaties (zoals maximaal toelaatbare congestiekans) moeten voldoen.

Nu, na ruim zeventig jaar, worden Erlang's formules nog steeds in de telefonie gebruikt (Brockmeyer et al. [1948]).

### Naoorlogse ontwikkelingen

De jaren na de tweede wereldoorlog waren bijzonder vruchtbaar voor de OR. Op het gebied van de OR-technieken werd een groot aantal mijlpalen bereikt, elk waarvan als een grensverleggende bijdrage tot de OR kan worden beschouwd. Ik zal ze U noemen.

Zonder twijfel is een van de belangrijkste naoorlogse bijdragen die van het *Simplex Algoritme* geweest. Dit is een efficiënt algoritme, met behulp waarvan men een *lineaire* opbrengstfunctie onder *lineaire* restricties vlot kan optimaliseren. We noemen zo'n optimaliseringsprobleem een *lineair programmeeringsprobleem* (afgekort: een *LP probleem*). Dit door Dantzig gevonden algoritme is in alle moderne, lineaire programmeringspakketten aanwezig (Dantzig [1963]).

Grensverleggend bleek ook de techniek van de *dynamische programmering* te zijn. De Amerikaan Richard Bellman legde er in het begin van de vijftiger jaren de grondslag voor (Bellman [1957]). Sommige ingewikkelde optimaliseringsproblemen laten zich splitsen in een aantal samenhangende deelproblemen, die in het algemeen elk op zich eenvoudig op te lossen zijn. Dit is de benadering die bij dynamische programmering wordt gebruikt en veel praktische problemen, vooral die waarbij de dimensie *tijd* een belangrijke rol speelt, kunnen aldus in deelproblemen worden gesplitst.

Parallel met de komst van deze optimaliseringstechnieken kwam ook de *simulatietechniek* naar voren. Simulatie is tegenwoordig voornamelijk op computerverwerking gebaseerd en dient om inzicht in complexe situaties te verkrijgen, speciaal als een analytische benadering al te problematisch wordt. Bij simulatie wordt de werkelijkheid *procesmatig* in een model nagebootst. Hierbij spelen kansprocessen een belangrijke rol. Voorbeelden hiervan zijn het simuleren van een goederenstroom of het verloop van het weer. Aan de hand van de modeluitkomsten probeert men dan conclusies te trekken, die hopelijk ook in de realiteit hun geldigheid hebben.

Als volgende grote doorbraak zou ik die binnen de *geheeltallige programmering* willen noemen. Het blijkt dat bij veel problemen ondeelbare variabelen een centrale rol spelen: men spreekt over *gehele* aantallen mensen, auto's of doelpunten in een voetbalwedstrijd. Verder komen in veel beslissingsproblemen zgn. nul-één variabelen voor. Zo bevatten planningmodellen voor landbouwbedrijven dikwijls nul-één variabelen wanneer het erom gaat een werk-

tuig al dan niet bij een bepaalde werkzaamheid voor een gewas in te zetten. Hoe nu met deze geheeltallige optimaliseringsproblemen om te gaan was tot aan het einde van de vijftiger jaren niet helemaal duidelijk. Op dat moment zorgden Gomory en het duo Land en Doig voor een essentiële doorbraak, die resulteerde in resp. de *cutting-plane* en de *branch-and-bound* methode. Het fundamentele karakter van deze methoden vond later ook op andere optimaliseringsgebieden een uitgebreide toepassing (Gomory [1958]; Land en Doig [1960]).

Verder zou ik het gebied van de *netwerkplanning* willen noemen. Deze planningmethodiek heeft op de meest uiteenlopende gebieden furore gemaakt.

En als laatste resultaat wil ik nog de technieken noemen die bij het *voorspellen* van tijdreeksen worden gebruikt. De voorspelmethode van Brown, Kalman, Box en Jenkins bleken goed bruikbare predictiemethoden op te leveren, waarvan er sommige aftrek vonden in industriële omgevingen (Brown [1963]; Box en Jenkins [1976]; Kalman [1960]).

Het voorgaande is slechts een summier overzicht van de belangrijkste vooruitgang in OR-technieken die na 1945 hebben plaatsgevonden.

## De confrontatie met de praktijk

In mijn oratie heb ik tot nu toe de OR vooral vanuit een *technologisch* standpunt beschreven. Hiermee bedoel ik dat ik mij vrijwel uitsluitend beperkt heb tot de *technieken* van de OR en niet nader op de relatie met de praktijk ben ingegaan. Zoals ik in het voorgaande al heb geschetst, is deze tak van de OR bijzonder succesvol geweest.

Binnen de OR bestaan echter *twee* hoofdstromingen van waaruit een vrij ongecoördineerde expansie plaatsvindt. Ik zou deze twee expansiemogelijkheden hier *voorwaartse* en *achterwaartse* integratie willen noemen. Met *achterwaartse* integratie bedoel ik het exploreren van het veld der wiskundige OR: de algoritmen en technieken. Zoals ik heb laten zien, zijn hier in de afgelopen vijftig jaren werkelijk zeer grote prestaties geleverd.

Met *voorwaartse* integratie bedoel ik het penetreren in en exploreren van het gebied waarop OR-ideeën toepassing vinden.

Hoe zit het nu met de grote successen? Kon de stijgende lijn, die vooral aan de successen in de oorlogsjaren te danken was, zich voortzetten? Helaas kan er op deze vraag geen bevestigend antwoord worden gegeven. De mening dat de OR ook op grote schaal in de praktijk zou worden toegepast, bleek in het algemeen niet juist te zijn. Vooral in *bedrijfsomgevingen* bleef de ontwikkeling nogal achter. Hoe kwam dit, terwijl toch deze tak van de OR als belangrijkste taak het afleveren en in de organisatie integreren van beslissing-ondersteunende modellen had?

We zullen hier enkele belangrijke oorzaken van deze stagnatie eens op een rijtje zetten:

- de gedachtenwerelden van de OR-beoefenaar en de man die moet beslissen hebben vaak een lege doorsnede. Dit wil zeggen dat de voorgestelde oplossing van het probleem de beslisser niet aanspreekt, omdat die zijns inziens niet plausibel of inzichtelijk is. Men komt dan snel tot de volgende uitspraak: "een manager heeft liever een probleem dat hij niet kan oplossen dan dat hij een oplossing accepteert die hij niet kan begrijpen" (Woolsey [1975]). Men kan zich voorstellen dat dergelijke ervaringen niet alleen de specialist, maar ook de manager enorm kunnen frustreren.
- Een andere oorzaak ligt in de dikwijls nog fragmentarische informatievoorziening waarop OR-modellen zich moeten baseren. Vaak is de voor het model noodzakelijke informatie niet beschikbaar of is deze informatie verouderd of onbetrouwbaar. Het snel en accuraat beschikbaar stellen van juiste en ondubbelzinnige informatie wordt dank zij de moderne computerinformatiesystemen echter hoe langer hoe eenvoudiger.
- Vaak is de aan een model ten grondslag liggende kostenrelatie niet realistisch of slechts een povere en te eenvoudige afbeelding van de werkelijkheid. Voorraadkosten bijvoorbeeld zijn, in tegenstelling met wat vaak wordt gedacht, géén lineaire functie van de gemiddelde voorraad. Verder zijn kostencoëfficiënten meestal onvoldoende nauwkeurig of slecht gedefinieerd en geven daardoor aanleiding tot hardnekkige en vruchteloze discussies met het management. Het vak Operational Accounting, dat zich met deze kostencoëfficiënten en relaties bezighoudt, kan hierbij goede diensten bewijzen.
- Af en toe worden bijzonder fraaie (althans vanuit het gezichtspunt van de wiskundige OR) *integrale* modellen gemaakt. Met integraal wordt hier bedoeld: werkend over verschillende organisatorisch gescheiden afdelingen heen. Maar dit betekent o.a. dat de in het model tot stand gebrachte integratie niet is terug te vinden in de realiteit. Deze modellen ondervinden weinig weerklank: alleen in het allergunstigste geval kan het model een indikatie van een organisatorische structuurwijziging geven.
- Ten slotte zijn beslissingen (vooral als ze op betrekkelijk hoog niveau in de organisatie worden genomen) veelal *politieke* beslissingen. Deze beslissingen laten zich niet vanuit één bepaald criterium optimaliseren. Veelal zijn er meerdere en zelfs gedeeltelijk konflikerende doelstellingen waaraan een groep beslissers zo goed mogelijk moet trachten te voldoen. Bij dit soort problemen is men niet in staat een model te maken dat in voldoende mate met de werkelijkheid overeenkomt. Want het besluit de neutronenbom al dan niet seriematig te gaan vervaardigen zal beslist niet aan de hand van een OR-model gemotiveerd kunnen worden. Bij dit soort beslissingen spelen zoveel verschillende aspecten van ethische en politieke aard een rol, dat OR-modellen hier gewoonweg niet op hun plaats zijn. De *feitelijke* be-



slissingen worden pas genomen na langdurige, meningvormende discussies met alle betrokken partijen.

In het voorgaande heb ik een niet al te rooskleurig beeld geschetst van de pogingen OR-modellen en de organisatie waarvoor ze bedoeld zijn met elkaar te laten versmelten. Ik haast mij echter te zeggen dat er zeker ook probleemvelden te vinden zijn waar de OR succesvol is. Ik zou een OR-toepassing succesvol willen noemen wanneer deze *organisch* in de praktijk functioneert.

Bekend zijn de toepassingen van Operationele Research in de aardolie-industrie. Al vrij lang is de planning bij raffinaderijen voor een groot deel op *lineaire programmering* gebaseerd. Deze toepassing is daar langzamerhand geheel en al met het planninggebeuren vergroeid (Wiig [1975]).

Als tweede succesvolle toepassing wil ik de *netwerkplanning* noemen. Dit hulpmiddel is in veel organisaties uitgegroeid tot een waardevol instrument om de planning te bewaken.

In het voorgaande heb ik gepoogd een overzicht te geven van de belangrijkste oorzaken van de te geringe acceptatie van OR-modellen in de praktijk. Deze stagnerende voorwaartse integratie heeft ertoe geleid dat de kloof tussen OR-specialist en opdrachtgever/beslisser niet kleiner geworden is.

De achterwaartse integratie verliep daarentegen veel voorspoediger. Immers hier ging het niet in eerste instantie om de afbeelding van werkelijkheid naar model, maar veel meer om de *analyse* van het model en de *algoritmen* om dit op te lossen. Zoals ik al eerder heb opgemerkt, heeft deze tak zich nu zó ver ontwikkeld, dat zeer veel problemen, althans in principe, ook in de praktijk kunnen worden opgelost. De omzetting van theorie in applicatie wordt echter hoe langer hoe gecompliceerder doordat de beoefenaar van de twee genoemde stromingen van elkaar vervreemden. Het wordt hoe langer hoe meer duidelijk dat er tussen beide groepen OR-beoefenaars een konflikt aan het ontstaan is. We zien dit al in de vaktijdschriften. Vele daarvan hebben zich in de loop der tijd gesplitst in een richting *theorie* en een richting *applicatie*. In de theoretische tijdschriften worden vooral de *analyse* en de *algoritmen* behandeld, terwijl in de praktische tijdschriften de toepassingen meer in de vorm van *cases* worden behandeld. Voorbeelden hiervan zijn de tijdschriften *Management Science* en *Zeitschrift für Operations Research*.

Vaak leidt deze ontwikkeling tot uitzichtloze discussies. Zo begrijpen de praktici bijvoorbeeld de wiskundige ontwikkelingen binnen het vak niet, terwijl de theoretici de behandelde cases te specifiek en dus van te weinig algemeen belang vinden. Dezelfde tweedeling kunnen we ook op grote internationale conferenties aantreffen (Hoffman [1977]).

Ik zou het voorgaande als volgt willen samenvatten. Binnen de Operationele Research zijn er in de laatste decennia twee hoofdstromingen ontstaan: de

groep die het als haar taak ziet beleidondersteunende OR-modellen te maken en eventueel te implementeren en de groep die zich vooral richt op de analyse van modellen en op de algoritmen om ze op te lossen. Deze laatste groep bleek uiterst succesvol te zijn als doel op zichzelf.

We hebben gezien dat de toepassers het in de praktijk erg moeilijk hebben, omdat hun OR vaak niet geschikt lijkt voor het oplossen van *reële* problemen, ondanks de opkomst van geavanceerde computerapplicaties.

Verder valt er een verwijdering waar te nemen tussen beide genoemde OR-stromingen, waardoor de omzetting van theorie naar praktijk zeer complex wordt.

### Noodzakelijke ontwikkelingen

In het voorgaande is duidelijk naar voren gekomen dat er een discrepantie bestaat tussen reële beslissingssituaties en de wereld van de OR. Opgemerkt werd reeds dat kant-en-klare optimale beslissingen, die geheel via een model zijn verkregen en zonder menselijke interventie worden genomen, uiterst zeldzaam zijn. Heel in het kort zou het volgende dienen te gebeuren. Men moet leren begrijpen hoe beslissingen in de praktijk tot stand komen. Er moeten antwoorden komen op vragen als: Hoe zijn de formele en informele machtstructuren binnen een organisatie? Hoe komt een doelstelling tot stand? Hoe ziet die cruit? Hoe worden kostencoëfficiënten bepaald? Hoe verlopen onderhandelingsprocessen? Aangezien beslissingen door en voor mensen worden genomen, is het een *conditio sine qua non* dat de Operationele Research meer het vizier op de gedragswetenschappen richt (Wagner [1974]). Om deze reden ben ik het niet eens met Müller-Merbach's definitie van OR als *kwantitatieve* beslissingsvoorbereiding. Het is noodzakelijk dat ook niet-*kwantitatieve* gedragswetenschappelijke aspecten een grotere nadruk dienen te krijgen bij de implementatie van *kwantitatieve*, beleidondersteunende modellen.

### Overdracht

Tot nu toe bestond de overdracht van OR-ideeën veelal uit het houden van lezingen, het maken van rapporten en het geven van cursussen. Vooral in de laatste jaren komt hier een dimensie bij. Men heeft ingezien dat het in een *spelsituatie* betrekken van beslissers bijzonder blijkt aan te slaan. Ik geef hiervan twee voorbeelden.

In een samenwerkingsverband tussen de Landbouwhogeschool en een Hogere Agrarische School is een bedrijfsspel met de instructieve naam "Zelden Goed" ontworpen. Het doel van het spel is o.a.:

- de gebruiker te confronteren met de realistische beslissingsproblemen van een landbouwbedrijf;
- het de mensen laten wennen aan het nemen van beslissingen in onzekere omstandigheden met betrekking tot weer, groei van het gewas, vochtigheid van de grond, prijzen van de produkten en gedrag van de afnemers.

Elke speler moet periodiek z'n activiteiten zódanig plannen dat hij mag verwachten dat z'n opbrengst gemaximaliseerd wordt. Hij kan dan tot het inzicht komen dat hetgeen hij altijd al deed helemaal nog niet zo gek was of dat juist een bepaalde werkwijze onnodig en te kostbaar is (Van der Meijen Van Heemst [1977]).

Ook in een industriële omgeving treft men dit soort *planningspellen* aan. Er bestaan bijvoorbeeld spelsituaties waarin de speler z'n produktieniveau voor een aantal perioden vooruit moet plannen en wel zódanig dat hij mag verwachten dat de som van alle door hem beïnvloedbare kosten minimaal wordt.

Ook hier kunnen allerlei alternatieve planningstrategieën wat betreft kosten met elkaar worden vergeleken, terwijl ook handige en inzichtelijke vuistregels op hun merites getoetst kunnen worden. Resultaat van zo'n spel is dat men de planner feeling bijbrengt voor de parameters die bij het plannen het meest kritisch zijn, terwijl als bijproduct wordt verkregen dat de speler aan een modelmatige benadering went (Meyer en Muijen [1966]).

Een geheel andere strategie die het modelmatige, kwantitatieve denken meer ingang doet vinden en tevens de wijze waarop beslissingen tot stand komen explicieter maakt, is de volgende. Een OR-groep zou er naar kunnen streven managers, die waarde hechten aan het denken in modellen, ertoe te bewegen enige tijd in de groep te komen werken. Hieraan is een aantal voordelen verbonden. Ten eerste doet de man zelf veel voor hem nieuwe OR-kennis op, zoals kennis van moderne predictiemethoden of van dynamische programmering.

In de tweede plaats kan de groep veel van de gast leren over de cultuur van de vroegere afdeling, waardoor waardevolle informatie wordt verkregen. Het derde voordeel, dat mijns inziens het belangrijkste is, is het feit dat de man na zijn terugkeer in een managementfunctie als *antenne* voor de OR kan gaan fungeren.

We hebben gezien dat de zo uiteenlopende werelden van OR-beoefenaar en beslisser één van de voornaamste oorzaken is van het stranden van veel ideeën. Welnu, deze bron van stagnatie zouden we met het volgen van deze strategie grotendeels kunnen elimineren. In een OR-groep van Philips wordt momenteel met deze strategie geëxperimenteerd en naar het zich laat aanzien met succes.

In het voorgaande heb ik een poging gedaan aan te geven dat er wel degelijk

aanknopingspunten en kansen bestaan om een organisatie meer OR-minded te maken. Een voorzichtig optimisme is zeker gerechtvaardigd, mits men le- ring trekt uit vroegere echecs en bereid is te onderzoeken hoe beslissingen in de praktijk tot stand komen.

## OR en computers

In het voorgaande ben ik ook kort ingegaan op enkele succesvol geïmplemen- teerde OR-modellen. Ik wilde nu een meer technische toepassing noemen. De toepassingen van OR-modellen in het technische vlak blijken vaak minder problemen met zich mee te brengen dan die in het niet-technische vlak. Dit vindt z'n oorzaak in het feit dat er bij *technische* problemen relatief weinig verloren gaat bij het in een model afbeelden van de werkelijkheid. Bij niet-technische problemen ligt dit dikwijls veel moeilijker. Ik heb daar in deze oratie al eerder op gewezen. Nu dan het voorbeeld.

In het gebied van de *computer system modelling* houdt men zich bezig met de modellering van processen die binnen en tussen computers verlopen. Mo- menteel ontstaan er overal in onze samenleving computernetwerken. Deze tendens wordt aangewakkerd doordat men op geografisch gescheiden plaat- sen in steeds groter tempo behoefte krijgt aan relevante en recente informa- tie. Om aan deze behoefte tegemoet te komen moeten zowel *dataprocessing* als *datacommunicatie* hierop worden afgestemd. Dit leidt tot het ontstaan van netwerken van dataprocessing-faciliteiten, die door middel van snelle communicatielijnen met elkaar zijn verbonden. Deze tendens biedt ook per- spektieven voor wat betreft de decentralisatiegedachte: het is lang niet altijd noodzakelijk bepaalde transakties via een centrale computer af te handelen. Veel lokale beslissingen kunnen al op grond van lokale informatie genomen worden, terwijl er dan eventueel periodiek een beroep kan worden gedaan op een centrale computer. Door afweging van de kosten van hardware/software tegen de kosten van communicatie zal men mede met behulp van OR-model- len in staat zijn een voor een bepaalde applicatie zo economisch mogelijke netwerkconfiguratie op te bouwen. Met behulp van deze modellen kan men accurate schattingen van de responsietijden binnen een netwerk maken. Het netwerk kan zo worden opgezet dat het zo goedkoop mogelijk is, terwijl er toch nog aan bepaalde specificaties wordt voldaan. Voor deze problemen zijn er momenteel interactieve ontwerpprogramma's in ontwikkeling.

Toch moet men hieruit niet de conclusie trekken dat men op basis van een model alles optimaal kan ontwerpen. Vooral in het niet-technische vlak heb- ben we te maken met problemen als: Waarom wil iedereen een eigen compu- ter hebben en waarom wil niemand graag z'n gegevensbank met anderen de- len? Ook deze zaken moeten grondig uitgezocht worden.

## OR en de landbouw

Ik wil nu ingaan op het thema "OR en de landbouw". In de landbouw speelt de lineaire programmering dezelfde uitgesproken en belangrijke rol als in veel andere gebieden. Ook hierin kunnen problemen dikwijls vertaald worden in een LP-model, waarin een lineaire opbrengstfunctie gemaximaliseerd wordt, rekening houdend met een aantal lineaire restricties, die bijvoorbeeld te maken kunnen hebben met de beperkte beschikbaarheid van hoeveelheden, mankracht of machines. De modelvariabelen stellen dikwijls mogelijke selecties voor. Zo zou met behulp van een lineair programmeringsmodel kunnen worden bepaald hoeveel koeien en schapen een boer moet houden om z'n opbrengst te maximaliseren. Hierbij dient hij tevens rekening te houden met de beperkte beschikbaarheid van grasland en stallen.

Echter het allerbekendst is de toepassing van de lineaire programmering bij het zo goed en zo economisch mogelijk samenstellen van mengvoeders. Hieraan heeft de LP waarschijnlijk een belangrijk gedeelte van haar reputatie in de landbouw te danken.

In het algemeen wordt de LP in de landbouw gebruikt in modellen ten behoeve van de *planning*. Deze modellen kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om te beslissen wanneer en welk gewas er moet worden geteeld en hoe de wisseling in de gewassen moet plaatsvinden. Verder kan men bij de beslissingen inzake produktie-expansie of investeringen gebruik maken van een op LP gebaseerd planningmodel. Het gaat hierbij vooral om het opstellen van een *meer-periodenplan*. Ik zal u hiervan een voorbeeld geven dat ook werkelijk in de praktijk is gebruikt (Swart et al. [1975]). Het voorbeeld heeft betrekking op een grote melkveehouderij, waarvan de eigenaar eens orde op zaken wilde stellen. Wat was namelijk het geval? Het hele bedrijfsgebeuren bleek voor de man hoe langer hoe ondoorzichtiger te worden. Dit weerspiegelde zich o.a. in een aarzeling over te gaan tot nieuwe investeringen. Beslissingen over de bouw van nieuwe stallen en het bijhuren van grasland waren tot dan toe steeds weer uitgesteld vanwege de onzekerheden over de mate en richting van de groei. Verder merkte de eigenaar dat hij van sommige produkten overschotten had, terwijl andere produkten juist tekorten vertoonden die door aankoop elders konden worden opgeheven. Tenslotte had hij er geen idee van hoe zijn veestapel moest zijn opgebouwd.

Met behulp van een op LP gebaseerd meerperioden planningmodel was de eigenaar in staat een aantal aspecten doorzichtiger te maken. Dit had tot gevolg dat de noodzakelijke investeringen niet meer werden uitgesteld en er een aanvang werd gemaakt met een andere opbouw van de veestapel. En dit had weer tot gevolg dat de bedrijfswinsten enorm omhoog gingen.

Hoewel het hier een incidenteel geval betreft, geloof ik toch dat er in de landbouw een grote behoefte aan dit soort planningmodellen is.

Behalve de lineaire programmering spelen ook *volgordeproblemen* een grote rol, met name bij het verrichten van de werkzaamheden die inherent zijn aan een landbouwbedrijf. Doordat de weersomstandigheden of het vochtgehalte van de grond zich vrij snel kunnen wijzigen, zullen de urgenties, en dus ook de volgorde van de te verrichten werkzaamheden, sterk kunnen variëren. Vooral in de laatste tijd wordt op deze problematiek (het zo efficiënt mogelijk bepalen van de werking op een landbouwbedrijf) systematisch gestudeerd (Van Elderen [1977]).

Als volgend gebied waarop duidelijk plaats is voor modelondersteuning, kan de *ruilverkavelingsproblematiek* worden genoemd. Bij ruilverkaveling wordt een betrekkelijk groot gebied aan een herindeling onderworpen en wel zodanig dat de kavels na deze herindeling "beter" aan de bedrijven zijn toegewezen dan voorheen. Het woord "beter" moet hier worden gerelateerd aan criteria als afstand tussen of samenhang van de aan een bedrijf toegewezen kavels (Kik [1976]). Bij dit soort toch wel delicate problemen speelt Operationele Research een rol die hij hoort te spelen: het aandragen van een goede startoplossing als input voor discussies in de diverse betrokken gremia. Hierbij komt overigens een nieuw aspect naar voren. Men dient er nl. voor te waken dat de uitkomsten van het model niet in verkeerde handen vallen. De output van een computermodel boezemt, mede door de lay-out, dikwijls zóveel vertrouwen in, dat er al gauw een neiging ontstaat de resultaten cijfermatig te interpreteren. Het is duidelijk dat deze situatie moet worden vermeden (Müller-Merbach [1977]).

Aan de hand van het voorbeeld van de melkindustrie kan goed worden geïllustreerd hoeveel verschillende ingangen er wel niet voor de Operationele Research kunnen zijn. Bij het ophalen van de melk spelen *routingproblemen* een rol. Verder bestaan er *produktieplanningproblemen* voor de productieniveaus van de verschillende eindprodukten waartoe de melk kan worden verwerkt. Wanneer moeten de machines worden onderhouden of vervangen. En tenslotte, hoe moeten de voorraden van produkten *beheerd* en *gedistribueerd* worden (Dagnelie [1968]).

Als afsluiting van dit onvolledige overzicht van de toepassingsmogelijkheden van kwantitatieve modellen in de landbouw, zou ik de op de *systeemdynamica* gebaseerde wereldmodellen van Meadows willen noemen (Meadows [1972]; Forrester [1971]). Het gaat er hierbij vooral om in *wereldverband* het dynamische gedrag van de wisselwerking tussen bevolkingsgroei, voedselproductie, industrialisatie, uitputting van de natuurlijke grondstoffen en vervuiling te bestuderen. Deze wereldmodellen blijken ook duidelijk relaties met de landbouw te bezitten. Zo werd bijvoorbeeld via zo'n model het dynamische gedrag van stabiele pesticiden in het ecosysteem bestudeerd. Aangezien deze modellen op een zeer groot aantal veronderstellingen gebaseerd zijn en

de uitspraken op een zeer hoog aggregatieniveau worden gedaan, kan men de modeluitkomsten meestal niet *cijfermatig* interpreteren. En juist op dit punt zijn deze modellen aan aanvallen onderhevig. De *dynamica* van het fenomeen waarin we geïnteresseerd zijn, is echter van veel groter belang.

In het voorgaande heb ik in vogelvlucht aangegeven op hoeveel fronten en op welke aggregatieniveaus een modelmatige aanpak in de landbouw zinvol kan zijn. Naar mijn mening liggen hier grote kansen en uitdagingen voor de Operationele Research. Ook dienen we hier duidelijk de link te leggen met de omgeving waarin het probleem leeft. Pas dan zal er een kans op acceptatie van onze ideeën zijn.

### Relaties tussen industrie en instellingen voor hoger onderwijs

Vervolgens zou ik enige woorden willen wijden aan de relatie tussen industrie en instellingen voor hoger onderwijs.

De Operationele Research speelt zowel in de industrie als aan de instellingen voor hoger onderwijs een eigen rol. Gaat het in de industrie meer om de *toepassingen*, aan de universiteiten en hogescholen ligt het accent meer op de *theorievorming*. En juist door deze op natuurlijke wijze tot stand gekomen complementaire opstelling is het vice-versa doorgeven van ideeën uiterst nuttig en naar mijn mening noodzakelijk. Dit brengt mij tot de uitspraak dat het tot stand brengen van min of meer geformaliseerde relaties tussen beide omgevingen een *noodzakelijke* voorwaarde zijn voor het op niveau en in de breedte kunnen aanpakken van problemen. Ik denk hierbij aan geformaliseerde kanalen die bijvoorbeeld kunnen bestaan uit wetenschappelijke adviseurs met een leeropdracht aan de universiteit en daarnaast, op part-time basis, werkzaam in de industrie. Dit vergemakkelijkt het in bedrijven onderbrengen van stagiaires uit het hoger onderwijs, de uitwisseling van ideeën en de gezamenlijke aanpak van relevante problemen. Het *gescheiden* beoefenen van de Operationele Research in beide ressorten kan gemakkelijk tot steriliteit leiden.

Zoals ik ook al eerder in deze rede deed, zou ik nu opnieuw een lans willen breken voor goede en intensieve contacten van de wetenschappelijke wereld met omgevingen waarin voor de Operationele Research in principe mogelijkheden weggelegd zijn. Grote industrieën hebben dikwijls voldoende know-how in huis om hun eigen OR-ondersteuning te verzorgen. Maar de kleine en middelgrote bedrijven kunnen zich zoets in het algemeen niet permitteren. Hetzelfde geldt voor de technische know-how. Op langere termijn bezien zullen er daardoor in die bedrijven te weinig innovaties op het gebied van techniek en bedrijfsvoering kunnen plaatsvinden. De gevolgen hiervan laten zich gemakkelijk raden.

Vanuit het technische ressort worden er momenteel pogingen ondernomen hierop in te haken. De afdeling Elektrotechniek van de TH Delft heeft een prijzenswaardig initiatief genomen. Men heeft daar het plan opgesteld (en al gedeeltelijk uitgevoerd) om jonge, tijdelijk werkloze ingenieurs in te schakelen bij het proces van de technische innovatie in kleine en middelgrote bedrijven, die het zich niet kunnen veroorloven een staf hooggekwalificeerde specialisten te hebben. Deze bedrijven hebben door hun te geringe schaal hoe langer hoe meer van de buiten-Europese concurrentie te lijden.

Via het Ministerie van Economische Zaken worden voor het bedrijf aantrekkelijke financiële regelingen ontworpen. Het resultaat hiervan is dat er nu al een grote belangstelling voor deze mogelijkheid bestaat.

Dezelfde constructie zou ook denkbaar zijn voor de niet-technische innovatie, zoals het ontwerpen van beleidondersteunende managementmodellen. Op dezelfde wijze als bij de technische innovatie zou ook hier de overheid als coördinerend lichaam kunnen optreden.

Overigens is deze door de overheid op zich te nemen taak niet nieuw. In het buitenland is het heel gewoon dat de centrale overheid bepaalde speerpuntprojecten stimuleert, coördineert en medefinanciert. Denkt u bijvoorbeeld maar aan de medefinanciering en herstructurering door de Franse overheid van de nationale computerindustrie in het Plan Calcul. Het doel van deze operatie (die ongeveer op dezelfde wijze in Duitsland, Engeland en Japan plaatsvond) was de nationale computerindustrie zodanig te herstructureren, dat men te eniger tijd op nationaal niveau over een krachtige en volledig onafhankelijke computerindustrie zou kunnen beschikken (Groosman [1978]).

Aan het voorgaande zou ik de volgende conclusies willen verbinden:

1. Ongecoördineerde, parallelle OR-activiteiten aan universiteiten en in de industrie kunnen tot steriliteit leiden. Men heeft elkaar nodig. De industrie is vooral aandrager van belangwekkende praktische problemen, terwijl de universiteit vooral toeleverancier van technieken en algoritmen is. Er dienen geformaliseerde contacten te bestaan tussen beide ressorten. De centrale overheid kan daarbij coördinerend en stimulerend optreden. Hierbij dient men niet uit het oog te verliezen dat slechts weinig industrieën het zich kunnen veroorloven de problemen op een even fundamentele wijze te benaderen als in de wetenschappelijke wereld gebruikelijk is.
2. Door studenten en zelfs jonge afgestudeerden stage te laten lopen in kleine tot middelgrote bedrijven, kunnen noodzakelijke op innovatie gebaseerde ontwikkelingen ook op het gebied van beleidondersteunende managementmodellen, tot stand worden gebracht.



## Dames en heren,

Aan het einde van deze oratie zou ik gaarne mijn dank willen betuigen aan Hare Majesteit de Koningin, die het voorstel voor mijn benoeming tot buitengewoon lector aan deze hogeschool heeft willen bekrachtigen. Tevens dank ik het College van Bestuur van de Landbouwhogeschool voor het vertrouwen dat het in mij gesteld heeft.

## Dames en heren leden van de Vakgroep Wiskunde,

Na ruim twee jaren in uw midden te hebben vertoefd, is mij gebleken dat u mij zeker niet als een vreemde eend in de bijt hebt willen zien. Ik ben u daar erkentelijk voor.

Als Vakgroep Wiskunde staan wij voor een gigantische uitdaging: de pluriforme en multidisciplinaire LH-gemeenschap te voorzien van wiskundige methoden en technieken ten behoeve van onderwijs en onderzoek.

Voor ons betekent dit dat wij ons sterk moeten inleven in de diverse lokale problemen, teneinde vast te kunnen stellen waar en hoeveel ondersteuning er moet plaatsvinden. Dit stelt hoge eisen aan ons allen. Ik beschouw het als een eer om evenals u deze uitdaging voor wat betreft de Operationele Research aan te nemen.

In de afgelopen tijd is de Sektie Optimaliseringstechnieken betrokken geraakt bij een groot aantal interessante activiteiten. Een voorbeeld hiervan is het door de Vakgroep Landbouwtechniek en onze Vakgroep geëntameerde promotie-onderzoek "*Optimalisering van de onderdelenvoorraden van landbouwwerktuigen*", waarbij duidelijke relaties met het bedrijfsleven bestaan. Verder streeft de Sektie Optimaliseringstechnieken naar bilaterale contacten die o.a. tot gezamenlijke leeronderzoeken kunnen leiden. Deze pogingen hebben al succes opgeleverd. Voor de toekomst zien we in ieder geval zeer veel mogelijkheden, zowel op het gebied van onderwijs en ondersteuning als op dat van het onderzoek.

## Waarde Heyn,

In de jaren die ik bij ISA-Research heb doorgebracht, ben ik tot het besef gekomen dat schijnbaar eenvoudige problemen in werkelijkheid vaak zó moeilijk en complex zijn, dat een uitsluitend modelmatige benadering bijna altijd tekort schiet. Vooral in de periode dat u en ikzelf deel uitmaakten van het Adviescollege ISA-Research heb ik dit duidelijk gevoeld.

Voor dit inzicht, dat mede door uw toedoen bij mij ontstaan is, ben ik u bijzonder erkentelijk.

**Waarde Grünwald,**

In de tijd dat ik met u heb mogen samenwerken heb ik u leren kennen als een uiterst veelzijdig iemand. De twee in zekere zin ver van elkaar verwijderde benaderingen, enerzijds vanuit de Operationele Research en anderzijds vanuit de Wisselwerking Informatie en Organisatie, zijn bij u evenwichtig verenigd. Zoals ik reeds heb betoogd, is een dergelijke brede benadering van de problemen een absolute noodzaak.

Met plezier denk ik terug aan de stimulerende discussies die ik met u had. Er zullen er hopelijk nog vele volgen.

**Hooggeleerde Benders,**

Toen wij elkaar voor het eerst ontmoetten, lagen onze interesses zeker niet in elkaars verlengde. In de loop der jaren hebt u mij, met mijn aanvankelijke oriëntatie op de waarschijnlijkheidstheorie, ook belangstelling voor de mathematische programmering bijgebracht. Vele in rapporten neergelegde resultaten getuigen van onze samenwerking. Op deze plaats wil ik u dank zeggen voor deze verbreding bij mijzelf en ik spreek de wens uit dat onze samenwerking nog vele jaren zal mogen voortduren.

**Hooggeleerde Cohen,**

In de frequente kontakten die wij mochten hebben, zowel bilateraal als in de werkgroep computernetwerkmodellen, ben ik geïnspireerd door uw benadering van de meeste problemen: resultaten uit de theoretische waarschijnlijkheidsleer probeert u dikwijls vanuit een fysisch standpunt te interpreteren. Deze benadering, waarin een link wordt gelegd tussen beide gebieden, blijkt het inzicht zeer ten goede te komen. Ik denk met veel plezier terug aan de vele gesprekken die wij hierover gevoerd hebben.

**Sehr geehrter Professor Vogel,**

Mit viel Freude denke ich an die Zeit die ich bei Ihnen im Institut für Angewandte Mathematik an der Universität zu Bonn verbracht habe. Ich bedanke mich bei Ihnen für die Betreuung während der Zeit in der meine Doktorarbeit entstand. Sie ist für mich sehr fruchtbar und entscheidend gewesen.

**Dames en heren studenten der Landbouwhogeschool,**

Tot mijn genoegen heb ik gemerkt dat er onder u velen zijn die belangstelling voor de Operationele Research hebben. Bij sommigen ligt het accent meer op de algoritmen en technieken, bij anderen meer op modelvorming.

Met een aantal van mijn collega's heb ik afspraken gemaakt om in de doctoraalfase leeronderzoeken te definiëren waarin een onderwerp van de afstudeerrichting gecombineerd kan worden met een gedeelte Optimaliserings-technieken. Dit zal er hopelijk toe bijdragen dat het OR-denken u ook na uw afstuderen bij zal blijven. Als dit zo is, ben ik zeer verheugd.

**Dames en heren,**

Ik heb u in het voorgaande enige aspecten van het vakgebied Operationele Research geschetst. Soms was ik optimistisch, dan weer pessimistisch. Ondanks alle obstakels die er op de weg der toepassingen liggen, geloof ik toch dat we door middel van een zo breed mogelijke probleembenadering ver zullen komen bij onze pogingen OR succesvol in de praktijk toe te passen.

Het is naar mijn mening de grootste uitdaging voor het onderwijs om deze visie over te brengen.

Ik dank u allen voor uw belangstelling.

## Geraadpleegde literatuur

1. K. ANDLER: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgrösse. Dissertation Universität Stuttgart (1927).
2. R.E. BELLMAN: Dynamic Programming. Princeton University Press (1957).
3. G.E.P. BOX; G.M. JENKINS: Time series analysis: forecasting and control. Holden-Day (1976).
4. E.H. BROCKMEYER ET AL.: The life and works of A.K. Erlang. Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences nr. 2 (1948).
5. R.G. BROWN: Smoothing, Forecasting and Prediction. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1963).
6. W.E. CAMP: Determining the production order quantity. Management Engineering (2), 17-18 (1922).
7. P. DAGNELIE: Recherche opérationnelle et agronomie. Revue Belge de Statistique et de Recherche Opérationnelle, vol. 8, nr. 4 (1968).
8. G.B. DANTZIG: Linear Programming and Extensions. Princeton University Press (1963).
9. S.J. DEITCHMAN: A Lanchester Model of Guerrilla Warfare. Operations Research vol. 10, 818-827 (1962).
10. E. VAN ELDEREN: Heuristic strategy for scheduling farm operations. Dissertation Wageningen (1977).
11. J.W. FORRESTER: World Dynamics. Cambridge Mass. Wright-Allen Press (1971).
12. R.E. GOMORY: An algorithm for integer solutions to linear programs (in R.L. Graves and P. Wolfe (Eds.): Recent Advances in Mathematical Programming, McGraw-Hill, New-York (1963)).
13. J. GOUDRIAAN; J.F. CAHEN: Turnover speed of stocks, calculation of the necessary stock for producing and selling organizations. Proceedings of the CIOS Congress Amsterdam (1932).
14. L.E. GROOSMAN: Private Communication (1978).
15. G.M. HOFFMAN: Message from the President. OR/MS Today, vol. 4, nr. 6 (1977).
16. R.E. KALMAN: A new approach to linear filtering and prediction problems. Journal of Basic Eng. Series D82, 35 (1960).
17. R. KIK: Inschakeling van een computer bij de toedelingsprocedure voor ruilverkavelingen. Nota 835, ICW Wageningen (1974).
18. W. KNÖDEL: Lineare Programme und Transportaufgaben. Zeitschrift für moderne Rechentechnik und Automation (7), 63-68 (1960).
19. A.H. LAND; A.G. DOIG: An automatic method of solving discrete programming problems. Econometrica (28), nr. 3, 497-520 (1960).
20. D.L. MEADOWS: The limits to growth. Universe Books, New York (1972).
21. L. VAN DER MEIJ; H.D.J. VAN HEEMST: Het Managementspel "Zelden Goed". Syllabus HAS Dordrecht (1977).
22. R.F. MEYER; A.R.W. MUIJEN: The production planning of many-product assembly operations. The International Journal of Production Research 5 (1) (1966).
23. H. MÜLLER-MERBACH: Quantitative Entscheidungsvorbereitung. Die Betriebswirtschaft (37) Heft 1. C.E. Poeschel Verlag Stuttgart (1977).
24. T.L. SAATY: Mathematical Methods of Operations Research. McGraw-Hill Book Company, Inc. (1959).
25. W. SWART ET AL.: Expansion planning for a large dairy farm (in H.M. Salkin and J. Saha (Eds.): Studies in Linear Programming, North Holland/American Elsevier, Amsterdam (1975)).
26. T.L. VINCENT ET AL.: Aircraft Missile Avoidance. Operations Research, vol. 24, 420-437 (1976).

27. H.M. WAGNER: The Design of Production and Inventory Systems for Multifacility and Multiwarehouse Companies. *Operations Research*, vol. 22, 278-291 (1974).
28. K. WIIG: Petroleum product distribution planning system (in H.M. Salkin and J. Saha (Eds.): *Studies in Linear Programming*, North-Holland/American Elsevier, Amsterdam (1975)).
29. R.E.D. WOOLSEY: How to do integer programming in the real world (in H.M. Salkin: *Integer Programming*, Addison Wesley (1975)).