

# WAT HEET OPTIMAAL?

## OR, probleemttypen en gebruikers

G.J. Hofstede

*De trukendoos van de Operations Research zit vol moois. Er zijn succesnummers zoals Lineaire Programmering: ontelbare problemen zijn er al mee aangepakt. Er zijn specialistischer en wiskundig ingewikkelder optimaliseringstechnieken. En tenslotte zijn er wiskundig zwakkere technieken, de zogeheten vuistregel- of heuristische technieken. In dit betoog zal de auteur aangeven hoe en waarom deze zwakke methoden voor sommige problemen toch een zeer sterke ondersteuning kunnen bieden.*

### Operations Research - aanpak

Elders in dit nummer geeft Hendriks een overzicht van wat de OR zoal te bieden heeft. De staat van dienst die het vakgebied heeft opgebouwd is indrukwekkend. Enkele actuele voorbeelden vindt u verspreid in dit nummer. De meeste successen staan op naam van de Lineaire Programmering.

De aanpak van een OR-specialist is ruwweg te kenschetsen aan de hand van de drie Engelse begrippen *trouble*, *puzzle*, en *problem*. Gorry & Krumland (in Bennet, 1983, p. 206) zeggen het mooi:

*"There are troubles which we do not quite know how to handle; there are puzzles whose clear conditions and unique solutions are marvelously elegant; and then there are problems which we invent by finding an appropriate puzzle form to impose upon a trouble. In management science (lees: OR, gjh), models are the puzzles to which attention is directed, and much of the work in DSS constitutes the imposition of those models on various aspects of managerial decision making"*.

De OR-specialist wordt geconfronteerd met een *trouble*, oftewel een min of meer onduidelijk praktijkprobleem. Hij of zij bestudeert dit en schat daarbij in welke OR-technieken ("puzzles") kunnen bijdragen aan de oplossing. Daarbij kiest hij liefst zo krachtig mogelijke technieken. Om een techniek toepasbaar te maken moet het probleem worden geherformuleerd, bijvoorbeeld als een LP-tableau. Dit is de *puzzle*-formulering. De aanvankelijke *trouble* heeft nu een duidelijker vorm gekregen als *problem*: Het oplossen van dit *problem* komt er nu op neer, de juiste gegevens in de *puzzle* te stoppen, deze op te lossen en vervolgens de oplossing van de *puzzle* terug te vertalen naar de werkelijkheid. De hier geschetste werkwijze ziet u uitgebeeld in figuur 1.

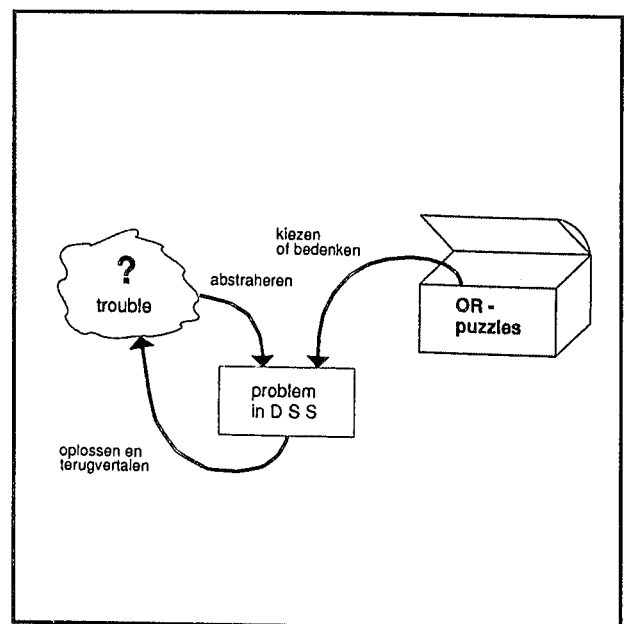
### Probleemttypen

De aanpak uit figuur 1 heeft haar kwaliteiten bewezen. Zij is echter niet voor alle praktijkproblemen even geschikt. Een belangrijke reden hiervoor is dat een *puzzle*-formulering van een *problem* per definitie een abstractie is waarbij bepaalde aspecten en doelstellingen zijn uitver-

groot ten koste van andere. Wanneer het praktijkprobleem te ver af staat van de gekozen *puzzle* levert het naar de praktijk terugvertalen van de uitkomst van deze *puzzle* problemen op. Dit bezwaar geldt voor alle OR-technieken maar wordt groter naarmate gebruik van een bepaalde techniek meer eisen stelt aan de formulering van het probleem.

Een optimaliseringstechniek bijvoorbeeld vereist per definitie dat er expliciet een optimaliteitscriterium wordt gedefinieerd. Is er in een praktijksituatie niet een eenduidig optimaliteitscriterium dan komen *trouble* en *puzzle* ver van elkaar af te staan en wordt de vertaalslag moeilijk. Dit probleem valt dus te verwachten bij praktijkproblemen met een complexe, onduidelijke of veranderende definitie. Daarvan zijn er vele, en dit zijn veelal juist belangrijke problemen. Zie bv. Simon et al., (1987) (p. 24: "*ambiguous goals and shifting problem formulations are typical characteristics of problems of design...*" ), of in dit nummer de bijdrage van Reinders over agrologistieke problemen.

Een andere beperking in het gebruik van OR-technieken ligt in het abstracte karakter ervan. Hierdoor gaapt er een kloof tussen OR-specialist en gebruiker van OR-oplossingen. Juist wiskundige elegantie maakt technieken voor de leek moeilijk toegankelijk. Hoe betreurenswaardig dit ook zij, het lijkt dat het de gebruiker kopschuw kan maken (Verbraeck & Sol, 1988). Overigens kan dit bezwaar worden ondervangen door intensief contact tussen OR-specialist en gebruiker tijdens het ontwerp (Vellekoop, 1989) en wellicht ook door intensieve begeleiding bij het gebruik (zie bv. Annevelink, 1988, p. 41).



Figuur 1: Probleemoplossen m.b.v. OR-technieken

Voorts is ook onvoorspelbaarheid van variabelen beperkend voor het gebruik van OR-technieken. De optimaliteit van een produktieplan geldt alleen onder bepaalde aannames en gaat verloren indien deze aannames niet op blijken te gaan. Maar ook voor niet-optimaliserende technieken geldt dat ze op grond van onvoorspelbare gegevens weinig kunnen uitrichten.

Tenslotte is het dan nog zo dat het in veel praktijksituaties te tijdrovend, te kostbaar of eenvoudigweg onmogelijk is om voldoende relevante gegevens bij elkaar te verzamelen om een OR-techniek mee te voeden. Analooq hieraan kan het zijn dat de beslisser overwegingen heeft die hij niet openbaar kan of wil maken maar die wel een rol spelen.

De OR is vooral in die situaties succesvol waarin bovengenoemde bezwaren zich niet te ernstig doen gelden. Voor een deel is hier mijns inziens niets aan te doen. Voor een deel ook denk ik dat de afstand tussen puzzle en trouble overbrugd kan worden door "optimaal" gebruik te maken van de kennis en intelligentie van de gebruiker van OR-oplossingen. Hiertoe kan men gebruik maken van OR-technieken welke een intensieve inmenging van de gebruiker tijdens het probleemoplossen toelaten, of dergelijke algoritmen ontwerpen. Op deze wijze kan de gebruiker gaande het oplossingsproces specifieke domeinkennis of doelstellingen inbrengen. Een andere richting van onderzoek, bedoeld om de tekortkomingen van OR-technieken te ondervangen, is om domeinkennis in voorgekookte vorm beschikbaar te stellen aan de OR-technieken in de vorm van AI (kunstmatige intelligentie-) componenten. Zie bijvoorbeeld Reinders in dit nummer.

### OR-technieken en de gebruiker

Sinds de opkomst van de PC is een gebruiker van een OR-techniek ook vaak een PC-gebruiker. Dat betekent bijvoorbeeld dat grafische presentatie van gegevens veel gemakkelijker is dan voorheen. Naarmate computers meer rekencapaciteit krijgen kan de gebruiker het OR-systeem ook vaker dingen laten doorrekenen. OR-systemen op PC heten doorgaans DSS (Decision Support System) of BOS (Beslissingen Ondersteunend Systeem).

In essentie is de OR-puzzle voor de gebruiker doorgaans een black box, oftewel: de gebruiker biedt de gegevens aan, het systeem rekent en presenteert de resultaten, en dit herhaalt zich eventueel een aantal malen totdat de resultaten van het systeem de gebruiker tevreden stellen.

Een dergelijke gang van zaken eist van de gebruiker een groot vertrouwen in het systeem. Bovendien is hij, wanneer hij vragen heeft bij de voorgestelde oplossingen van het systeem, of bepaalde aspecten aan de oplossing hem niet bevallen, gedwongen tot een volledige herformulering van het probleem. Daarbij is het maar afwachten wat voor oplossing er dan weer uit het systeem komt.

Black box-technieken zorgen er dus voor dat de structuur van het probleem voor de gebruiker onzichtbaar blijft. Mijns inziens is dit een nadeel bij problemen die vallen in de bovenbeschreven categorie "moeilijk behandelbaar". Bij deze problemen is het vinden van een optimale oplossing per definitie niet goed mogelijk en kan de verdienste van een DSS meer liggen in het beter doorgronden van de structuur van het probleem.

### Interactie

Er is een lange lijst publikaties waarin wordt vastgesteld dat er onvoldoende inzicht is in menselijk beslissen, of dat er bij DSS-ontwerp onvoldoende aandacht is voor de rol van de beslisser (bv. Bennett, 1983, Keen, 1986, Vlek, 1989). Met name de taakverdeling tussen mens en DSS is een ondergeschoven kind. Fisher (1985, p. 541) bijvoorbeeld zegt:

*"Optimization algorithms or heuristics in which the user interacts significantly either during the solution process or as part of post-optimality analysis are becoming increasingly popular. An important underlying premise of such man-machine systems is that there are some steps in solving a problem in which the computer has an advantage and other steps in which a human has an advantage".*

Interactie "during the solution process" betekent dat de puzzle-formulering zodanig wordt gekozen dat de gebruiker het probleem niet als black box ziet maar gedurende het oplossen mee kan denken en invloed kan uitoefenen op het oplossingsproces. Hiermee komt de intelligentie van het mens-computer systeem minder uitgesproken bij de computer te liggen, anders dan in de AI-gedachte. Overigens zijn er ook AI-adepten die een tijdelijk grotere inbreng van de gebruikers voorstaan, getuige bijvoorbeeld het volgende citaat (Fiksel en Hayes-Roth, 1989, p. 18):

*"To accelerate the near-term availability of intelligent planning aids, we propose a departure from the traditional orientation of planning research. (...) This will allow the development of interactive planning systems in which humans play the role of problem solver and machines assist by analyzing, monitoring, and refining plans initiated by humans. Eventually, as research on problem-solving methods matures, it should be possible (...) to achieve true system autonomy".*

### In een taxi

Interactieve planningssystemen zijn in wiskundige zin een zwaktebod. In plaats van dat de gebruiker zijn oplossing kant en klaar krijgt aangeboden moet hij nu meehelpen met oplossen. Men zou het kunnen vergelijken met een taxiklant die de chauffeur richtlijnen geeft over de te volgen route. De kracht zit er echter in dat de vertaling naar het praktijkprobleem nu minder problematisch is: immers, de gebruiker kent deze praktijksituatie en zal al tijdens het oplossen het systeem bijsturen. Wanneer onze taxichauffeur zijn klant naar een stad rijdt die de chauffeur niet in detail kent en de klant wel, zal de rit beter verlopen wanneer de klant meedenkt. Ik denk dan ook dat in veel gevallen de "true system autonomy" uit de geciteerde passage niet wenselijk is.

Het gebruik van interactieve systemen vergt van de gebruiker een leerinspanning: hij moet zich verdiepen in de manipuleermogelijkheden en dus in de structuur van het probleem zoals het interactieve systeem die aan hem presenteert. In ruil voor deze leerinspanning verwerft de gebruiker hierdoor een betere greep op het probleem; het systeem is intuïtiebevorderend. Uiteraard hangt zeer veel af van een goed ontwerp van de interactie. Is het ontwerp slecht in overeenstemming met het feitelijke probleem dan zal het systeem alleen verwarring wekken. Houdt het sys-

teem geen rekening met de oplossingswijze die de gebruiker hanteert dan zal het frustrerend werken.

### Een voorbeeldprobleem: Potplanten

Een sterk interactieve aanpak vraagt nogal wat van de gebruiker en lijkt dus alleen geschikt voor problemen die zodanig onduidelijk of complex zijn of waarbij de gegevens zo slecht beschikbaar zijn dat een OR-techniek er niet alleen uitkomt. Dergelijke situaties zijn bijvoorbeeld het maken van dienstroosters voor personeel in ziekenhuizen, van schoolroosters, en in de agrarische sector van teeltplannen in de potplantenteelt.

Bij agrarische productie is het vaak moeilijk plannen omdat het weer onvoorspelbaar is en daarmee het productieproces. In de sierteelt komt daar nog bij dat prijzen wisselvallig zijn, waardoor een te starre planning onvoordelig kan uitpakken. Het opstellen van een teeltplan op potplantenbedrijven is nog eens extra moeilijk omdat potplanten een variabele ruimtebehoefte hebben, die gerealiseerd moet worden in een dure kas. Leegstand kost dus geld, maar transport van planten bij het wijderzetten en inschikken ook.

#### Teeltplan

Het teeltplanningsprobleem op potplantenbedrijven bevat een aantal kenmerken die het weerbarstig maken jegens optimaliseringstechnieken. Allereerst is het probleem niet hard afgebakend van andere problemen zoals keuze van teeltschema en -methode. Ook is de bedrijfsvoering op geen twee potplantenbedrijven de zelfde. Verder zijn het weer en de prijzen onvoorspelbaar. Dan geldt ook nog eens dat zowel rond de groei en ontwikkeling van de gewassen - voortdurend nieuwe soorten en cultivars - als rond de feitelijke bedrijfsvoering - registratieproblemen - gebrek aan kennis heerst.

Bij zoveel onzekerheid ligt het voor de hand dat telers zich beperken tot het kiezen van een strategie die hen in korte tijd een aanvaardbaar plan oplevert. Als het maar draait; het rendement van meer planningsactiviteit is onduidelijk. Een meer expliciete planning, waarbij alternatieven worden ontwikkeld, doorgerekend en afgewogen, is dan ook voorbehouden aan een selekte groep vooraanstaande bedrijven (Alleblas, 1988, Beets et al., 1989).

#### IPP

Annevelink beschrijft in dit nummer hoe het teeltplanningsprobleem op potplantenbedrijven met Lineaire Programmering kan worden aangepakt (met het systeem IPP, IMAG ProductiePlanningshulpmiddel, Annevelink, 1988). Daarbij volgt men een stapsgewijze aanpak. Eerst wordt het globalere probleem van toewijzen van productiepartijen in de tijd met LP aangepakt. Hierbij optimaliseert het systeem naar saldo, onder arbeids- en ruimte restricties. Vervolgens wordt het plaatsingsprobleem opgelost. De partijen uit het globale plan worden met behulp van heuristieken aan bepaalde teeltplaatsen toegewezen. De gebruiker speelt in deze tweede stap een veel grotere rol dan in de optimaliseringsstap. Dit is begrijpelijk gezien de combinatorische complexiteit van het

plaatsingsprobleem, en ook gezien de vraag vanuit de praktijk.

Het teeltplanningsprobleem kan ook anders ontleed worden, en daarover gaat de volgende paragraaf.

### PROPLAN

Sinds 1985 is naast het IMAG en de LUW vakgroep Wiskunde ook de vakgroep Informatica betrokken bij het teeltplanningsprobleem op potplantenbedrijven. Dit gebeurt binnen het projekt PROPLAN (Professioneel Planningsstelsel voor de potplantenteelt), ook wel bekend onder de naam GROMS (Grower's Management Support system, Hofstede & Simons, 1986). Het doel van dit projekt is om hetzij stand-alone, dan wel in aanvulling op IPP het planningsprobleem te ondersteunen, waarbij de plooibaarheid en bruikbaarheid van het systeem voorop staan. Hierbij is veel tijd ingeruimd voor het zoeken en bruikbaar maken van interactieve heuristische technieken. Dit heeft inmiddels geresulteerd in een menugestuurd prototype DSS op PC, PROPLAN versie 0.2 (Hofstede, 1990). Het ontwerp is gebaseerd op het Informatiemodel Potplanten (Beers et al., 1985). De menustructuur van PROPLAN toont een hiërarchische ontleding van het probleem in vier niveaus, waarbij de gebruiker de keuze heeft of hij een bepaald niveau zelf wil invullen of dat hij dit aan het systeem overlaat.

#### Probleemdecompositie

De niveaus zijn:

- 1 Normen

Dit zijn de basisgegevens over produkten en afdelingen die uit registratie of andere bronnen worden betrokken en in een database worden bewaard.

- 2 Randvoorwaarden

Hieronder vallen bijvoorbeeld eventuele verplichte op-potaantallen (die wellicht uit een IPP optimalisatie rollen) en voorgeschreven dan wel verboden teeltplaatsen voor bepaalde produkt/seizoen/teeltfase combinaties. Deze kan de gebruiker desgewenst instellen voorafgaand aan het plannen.

- 3 Regelgetallen

Dit zijn instelbare waarden die de werking van de PROPLAN-heuristieken sturen. Ze kunnen gedurende het plannen naar believen gewijzigd worden.

- 4 Tablett/week/produktcombinaties

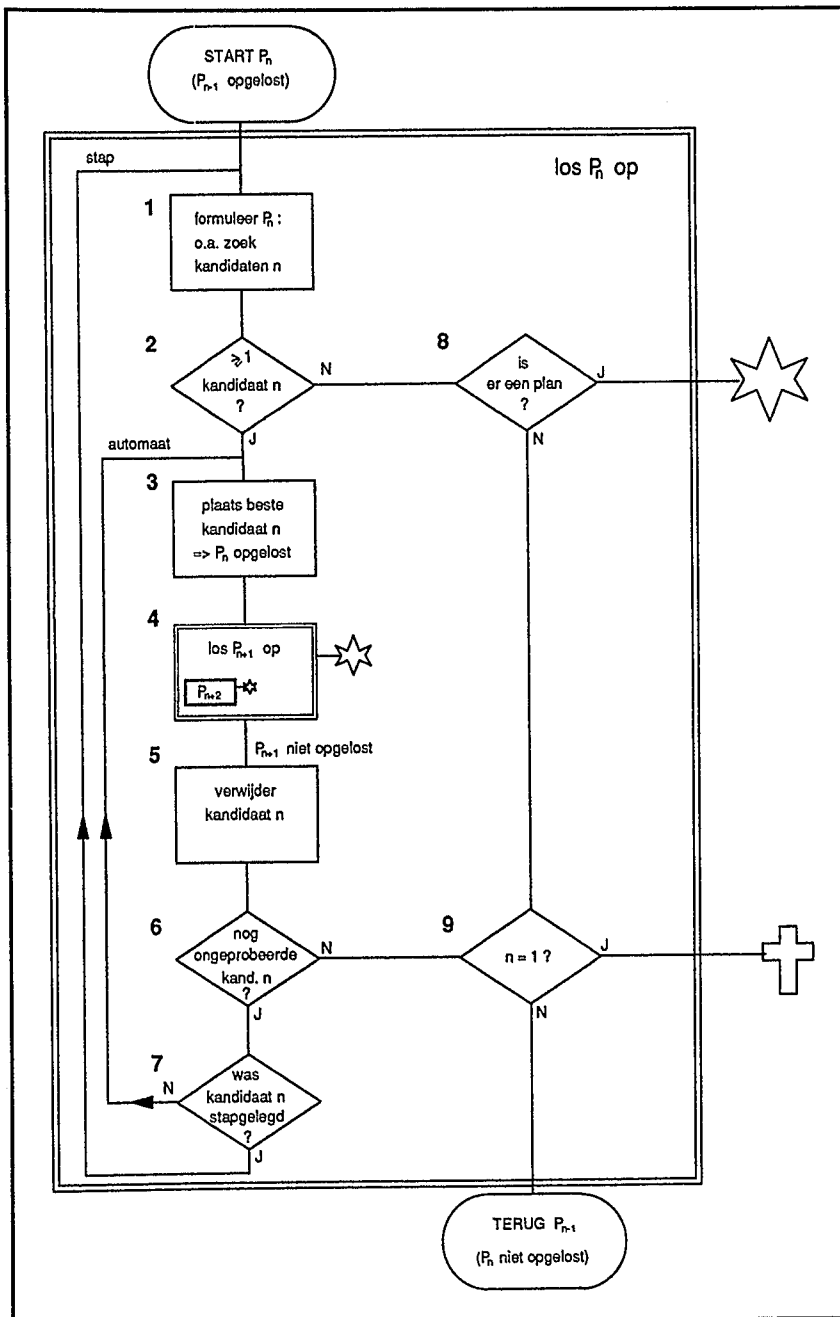
Dit is de meest elementaire planningseenheid.

Het meest opvallende aan PROPLAN is niet deze decompositie maar de manier waarop de interactie tussen teler en systeem plaatsvindt tijdens het plannen, op niveau 2,3 en 4.

PROPLAN bevat een database en een planningsgedeelte. Het planningsgedeelte maakt gebruik van de databasegegevens om een zoekruimte op te bouwen waarin systeem en gebruiker plannen kunnen definiëren. PROPLAN maakt gebruik van een backtrackalgoritme, aangekleed met een groot aantal instelbare heuristieken.

#### Taakverdeling

De gebruiker kan binnen ruime grenzen bepalen hoeveel hij aan het systeem wenst over te laten. Allereerst kan



Figuur 2: Interactief backtrack-algoritme in Proplan

hij al of niet randvoorwaarden definiëren voorafgaand aan het plaatsen. Hoeveel oppoetsen een teler heeft zal afhangen van het bedrijfstype en van het al of niet gebruiken van een systeem als IPP. Voor het plaatsen van partijen in een plan zijn er vervolgens drie mogelijkheden. Twee daarvan, Automaat en Stap, gebruiken het recursieve backtrackalgoritme dat staat weergegeven in figuur 2.

De meeste ondersteuning biedt de plaatsings-Automaat. Wanneer de gebruiker de Automaat in werking zet begint het backtrackalgoritme één voor één partijen in de kas te plaatsen, beginnend bij de eerste planweek en rekening houdend met randvoorwaarden en regelgetallen. De teler ziet dit plaatsen op het scherm gebeuren. Lukt het niet om de zoveelste partij, zeg partij N, te plaatsen, dan haalt het systeem partij N-1 weg en probeert daarvoor in de plaats een andere partij. Hieraan komt een eind wanneer

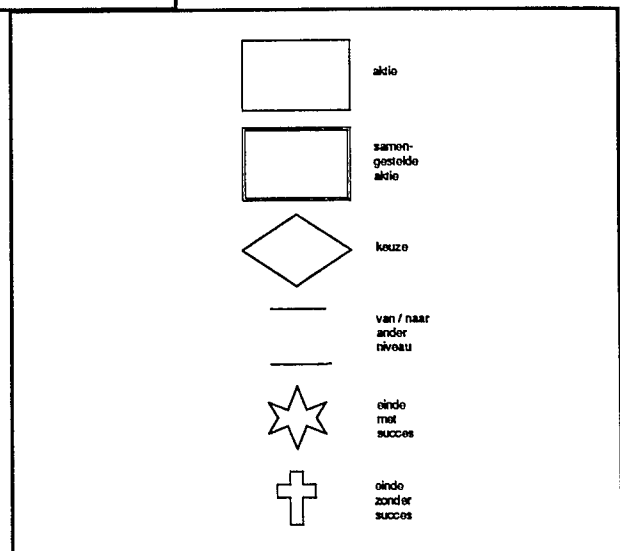
hetzij een plan gevonden is, dan wel alle partijen weggebacktracked zijn, dan wel de gebruiker het plaatsen onderbreekt.

De minste ondersteuning krijgt de gebruiker in optie Zelf-plaatsen. Hierbij gebruikt hij PROPLAN als een normaal planbord, dat wel eventuele randvoorwaarden bewaakt maar waarin hij het plaatsen zelf moet opknappen, zonder dat het backtrackalgoritme in werking is. De eerlijkheid gebiedt te zeggen dat deze optie in de huidige versie van PROPLAN nog maar ten dele werkt.

Tussen deze twee uitersten in bevindt zich optie Stap. In deze optie biedt het backtrackalgoritme voor elke te plaatsen partij een aantal adviezen. De gebruiker kan er dan voor kiezen één van de voorgestelde partijen te laten plaatsen, of zelf de plaatsing van één van de voorgestelde partijen te wijzigen, of het systeem te laten backtracken.

In figuur 2 komt het interactieve aspect van het algoritme erin tot uiting dat de gebruiker in elke lus in de recursie een voet tussen de deur kan krijgen. Het flexibele aspect is dat elke actie of keuze zowel aan de gebruiker als aan PROPLAN kan toevallen, afhankelijk van de gekozen menuoptie.

De gebruiker kan tijdens het werken met een van deze drie opties op elk gewenst ogenblik gebruik maken van optie Regel. Dit is het controlepaneel van PROPLAN waarin hij de werking van backtrackalgoritme en heuristische



Figuur 3: Legenda figuur 2

ken kan instellen. hieronder vallen de vertakingsgraad van de zoekboom, de volgorde van doorzoeken van de zoekboom, de criteria voor al of niet kandidaat stellen van een partij voor plaatsing, het omgaan met randvoorwaarden.

Deze korte impressie van PROPLAN doet geen recht aan het systeem. Het is in dit verband echter niet mogelijk uitgebreider op PROPLAN in te gaan. Details over bediening, achtergronden en structuur van PROPLAN zijn te lezen in de handleiding (Hofstede, 1990).

### Diskussie

In dit artikel is betoogd dat de kracht van optimaliseringstechnieken tegelijk een zwakte inhoudt, namelijk de afstand van OR-formulering tot praktijkprobleem. Dit geldt met name voor technieken die voor de gebruiker als black box werken. Voor sommige probleemttypen, is vervolgens gesteld, kan men met gebruik van wiskundig zwakkere, maar meer interactie toelatende technieken een "meer optimaal" resultaat boeken. PROPLAN is een voorbeeld van toepassing van dit idee. Het bevat heuristische algoritmen die geen optimalisatie verrichten maar in weinig rekentijd en op sterk interactieve en controleerbare wijze een plan verzorgen dat voldoet aan door de gebruiker opgegeven beperkingen.

De hamvraag is nu: werkt dit idee? Uit soortgelijke onderzoeken van anderen (bv. Savelsbergh, 1989) is bekend dat het zeer goed kan voldoen. Wat PROPLAN betreft is het nog te vroeg om uitspraken te doen over de bruikbaarheid in de praktijk; de huidige versie is slechts een prototype. In contacten met telers en ook in onderwijs-situaties is al wel gebleken dat gebruikers hun grote inbreng bij het plannen en de plooibaarheid van het pakket waarderen. Keerzijde daarvan is dat men enerzijds tijd nodig heeft om al spelende met PROPLAN gevoel te krijgen voor het werken ermee, anderzijds dat men, juist omdat er van alles kan, nog meer wil.

Mijn intuïtie is dat, wanneer beslissingsondersteunende systemen te ver van de praktijkproblemen af staan, gebruikers ze zullen ontlopen. Ze zullen liever zelf iets eenvoudigs ontwikkelen in een spreadsheetpakket. Echter, wanneer OR-specialisten hun grote kennis van wiskundige technieken paren aan de bereidheid de kennis van gebruikers serieus te nemen, kan er in de komende decennia veel toekomst zijn voor sterk interactieve beslissingsondersteunende systemen op basis van OR-technieken.

### Literatuur

Annevelink E., 1988, *Het IMAG Productie Planning systeem (IPP) in zijn introductiefase*, In: C. Huijbers et al. (eds), Proc. Symp. "Informatica - toepassingen in de Agrarische sector", Ede, mei 1988, Agro-Informatica reeks 2, VIAS Wageningen 1988.

Beers G. et al., 1985, *Informatiemodel Potplanten*, Rapport 37, PBN Aalsmeer 1985.

Beets J.N., K. de Bloois en J.A.J. Cerfontaine, 1989, *Het informatieaspect in de besluitvorming op glastuinbouwbedrijven*, LU vakgroepen Bedrijfskunde en Markt-kunde.

Bennett J.L., 1983, *Building Decision Support Systems*, Addison-Wesley, Reading 1983

Fiksel J. & F. Hayes-Roth, 1989, *Knowledge Systems for Planning Support*, in *IEEE Expert Fall 1989*, p. 16-23.

Fisher M.L., 1985, *Interactive Optimization*, in *Annals of OR* 5, 1985/6. p. 541-556.

Hofstede G.J. & Simons J.L., 1986, *First report on the Growers Management Support System*, dept. of Computer Science, Agricultural University, Wageningen 1986

Hofstede, 1990, *Handleiding PROPLAN 0.2*, vakgroep Informatica LU, Wageningen 1990, 68 blz.

Keen P.G.W., 1986, *Decision Support Systems: The Next Decade*, in: *Decision Support Systems*, vol. 3 no. 3, dec. 1987, p. 253-265.

Savelsbergh, M.W., 1988, *Computer aided routing*, doctoral thesis, CWI Amsterdam 1988

Simon H.A. et al., 1987, *Decision Making and Problem Solving*, in *Interfaces* 17:5, 1987, p. 11-31

Vellekoop A.H., 1989, *Decision Support for the Analysis of Economic Risk*, Dissertatie Erasmus Universiteit, Rotterdam 1988.

Verbraeck A. & H.G. Sol, 1988, *Software ontwikkeling bij BOS-bouw*, TU Delft Fac. Wisk. en Inform. rapport no 88-76, Delft 1988.

Vlek C.A.J., 1989, *Modellen en methoden voor het begrijpen en verbeteren van beslissingen*, In: C. Huijbers et al. (eds), Proc. Symp. "Informatica - toepassingen in de Agrarische sector", Ede 26 mei 1989, Agro-Informatica reeks 3, VIAS Wageningen 1989. □

---

*ir G.J. Hofstede is sinds 1985 verbonden aan de vakgroep Informatica van de Landbouwwuniversiteit waar hij zich bezig houdt met databases en beslissingsondersteunende systemen.*