

Heuristieken en beslissingen

van den Herik, H.J.

Published in:

Operations research: Praktijk en theorie: Symposium ter gelegenheid van het afscheid van prof. H.J.M. Lombaers gehouden op 6 juni 1985 te Delft

Publication date:

1985

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

van den Herik, H. J. (1985). Heuristieken en beslissingen. In W. Heins (Ed.), *Operations research: Praktijk en theorie: Symposium ter gelegenheid van het afscheid van prof. H.J.M. Lombaers gehouden op 6 juni 1985 te Delft* (pp. 42-55). Delftse Universitaire Pers.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright, please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

H.J. van den Herik*

1. INLEIDING

Hoewel rationele beslissingen kunnen bogen op een goede naam, gebeurt het slechts zelden dat zij genomen worden op grond van een exacte redenering. Meestal zijn ze gebaseerd op een of meer van de alziende 'I's: intuïtie, inzicht, inspiratie. De kapitale *i* duidt hierbij bovendien op een zekere subjectiviteit. De beslisser houdt er (onwillekeurig) rekening mee dat zijn beslissing inbedbaar is in de sociale context. Bij dergelijke beslissingsprocessen spelen heuristieken een grote rol. Toen Polya ongeveer 40 jaar geleden op zijn colleges de term 'heuristiek' introduceerde werd het begrip in feite al aarzelend toegepast in de terzelfder tijd ontstane Operation Research. Het duurde evenwel nog tot de jaren zestig alvorens de term opdook in OR-tekstboeken; waarschijnlijk voornamelijk als gevolg van Polya's publicatie in 1957 [1] en Allen Newells veelvuldig gebruik van de term (Newell was een student van Polya in Stanford) [2].

De effectiviteit van heuristieken werd alom erkend, hetgeen tot gevolg had dat toepassing ervan op ruime schaal plaats vond. Niettemin bleven er een aantal intrigerende vragen bestaan over de kracht van heuristieken, de oorsprong van deze kracht, het ontstaan van heuristieken en de ontwikkeling ervan. Pas tegenwoordig hebben we de mogelijkheid om berekeningsintensieve experimenten uit te voeren die een bestudering en schuchtere beantwoording van genoemde vragen mogelijk maken. Een aanzet hiertoe is gegeven door Lenat [3,4].

* Wetenschappelijk Hoofdmedewerker van de Onderafdeling der Wiskunde en Informatica, Technische Hogeschool Delft, Julianalaan 132, 2628 BL Delft.

In onderstaand betoog zullen wij laten zien dat een krachtige heuristiek verrassend en onvoorspelbaar kan falen. De tegenstelling algoritmisch versus heuristisch programmeren leidt ons vervolgens naar redeneerprocessen op basis waarvan beslissingen genomen worden. Enkele kanttekeningen hierbij maken duidelijk dat het de hoogste tijd is dat er een lijst van criteria voor de prestaties van expertsystemen opgesteld wordt opdat een moderne manager zijn beslissingen op juiste wijze kan onderbouwen.

2. HET FALEN VAN EEN HEURISTIEK

Een heuristiek wordt vaak geïntroduceerd als een ervaringsregel, waarbij bedoeld wordt op de ervaringen van een expert in het betreffende kennisdomein. In een nadere definitie beschrijft Rich [5] dat een heuristiek beschouwd kan worden als een techniek die de efficiency van een zoekproces verbetert, eventueel onder opoffering van claims over volledigheid. Ofschoon de heuristieken zich pas sinds kort in een wetenschappelijke belangstelling mogen verheugen, worden zij op informele wijze al eeuwen toegepast. Ter illustratie beschouwen wij de 'paardesprongpuzzel'. Reeds in oudere oosterse geschriften wordt deze puzzel genoemd als een moeilijk uitvoerbaar kunststuk. In latere tijden hebben wiskundigen als Euler en Vandermonde zich met deze puzzel en haar vele varianten beziggehouden. Wij zullen een van de eenvoudigste vormen van deze puzzel bekijken.

Zoals bekend beweegt een paard zich op het schaakbord zodanig dat het 2 velden horizontaal en 1 veld verticaal verschuift, of 1 veld horizontaal en 2 velden verticaal (paardesprong). De vraag is nu om de 64 velden van het schaakbord zo te doorlopen dat geen veld meer dan éénmaal bezocht wordt. In genoemde opgave is het niet noodzakelijk dat eindpunt en beginpunt een paardesprong van elkaar verwijderd zijn; een grote variëteit van dergelijke opgaven wordt gegeven door Bilguer [6] en Schuh [7].

Het door ons geformuleerde probleem is niet zo moeilijk op te lossen. Bovendien is er een groot aantal wezenlijk verschillende oplossingen, maar het was vroeger uiterst bewerkelijk om deze allemaal met de hand te vinden. Voorts kunnen we in plaats van een schaakbord, een verkleind bord nemen dan wel een vergroot bord, in het algemeen een $(n \times n)$ -bord. Andere bordvormen zullen wij niet beschouwen.

In 1823 formuleerde H.C. von Warnsdorf in zijn werk over de Rösselsprung een eenvoudige en algemene regel, kortom een heuristiek: "Man setze den Springer jedesmal auf dasjenige Feld, von welchem die wenigsten Ausgänge auf noch unbesetzte Felder übrig sind". Met deze regel gelukte het hem vrij gemakkelijk verschillende paardesprongtochten te construeren; de regel bleek ook nuttig indien de terugkeer op het beginpunt geëist werd, alsook bij andere beperkende voorwaarden.

Dat deze heuristiek redelijk voor de hand liggend is bleek mij toen ik het hierboven geformuleerde probleem als aanvullende opdracht (assignment) in een AI-course in Montreal uitreikte aan een willekeurige student. Vantevoren hadden we niet over bepaalde heuristieken gesproken en ook niet over literatuurverwijzingen. Toen de student, Vincent Young (McGill University, Montreal, Quebec, Canada), de eerste versie inleverde, bleek hij als heuristiek geïmplementeerd te hebben: "choose square with the lower number of future squares". Het programma was een depth-first zoekproces met backtracking, waarbij de volgorde van de te onderzoeken successors bepaald werd door de genoemde heuristiek. Zijn eerste resultaten met deze heuristiek zagen er als volgt uit:

bord	beginpunt	resultaat
4 × 4	(4,1)	na 1.463 zetten oplossing onmogelijk
5 × 5	(4,2)	na 25 zetten oplossing gevonden
5 × 5	(4,5)	na 80.000 zetten nog geen oplossing gevonden
8 × 8	(7,8)	na 64 zetten oplossing gevonden
12 × 12	(7,12)	na 144 zetten oplossing gevonden

De notatie van het beginpunt is gegeven volgens het cartesisch stelsel (voor schakers: $a1 = (1,1)$). We merken op dat door uitputtende opsomming (brute force) bewezen is dat een (4x4)-bord geen oplossing heeft. Voorts valt op dat het (5x5)-bord een oplossing kent; vanuit (4,4) wordt deze met de heuristiek zelfs in 25 zetten gevonden, doch met (4,5) als startpunt blijkt na 80.000 zetten nog geen oplossing gevonden te zijn (het programma werd daar gestopt wegens overschrijding van de toegemeten rekentijd). Natuurlijk garandeert de gevolgde methode ten slotte een oplossing, maar een dergelijke afwijking van het optimale pad moet als opmerkelijk gekarakteriseerd worden.

Ter illustratie geven we in diagram 1 de gevonden oplossing voor het (8x8)-bord.

Een oplossing van het (8x8)-bord, met als beginpunt (7,8)

19	16	27	42	21	6	1	4
28	41	20	17	26	3	22	7
15	18	43	40	59	24	5	2
44	29	52	25	50	57	8	23
33	14	45	58	39	60	49	62
30	53	32	51	56	63	38	9
13	34	55	46	11	36	61	48
54	31	12	35	64	47	40	37

DIAGRAM 1

De geproduceerde resultaten doen twee vragen opkomen:

1. Zijn er meer (n×n)-borden waarbij het zoekproces met genoemde condities niet in het optimale aantal zetten een oplossing vindt?
2. Wat is de oorzaak van het falen van het zoekproces? (of anders gezegd: waar gaat het nu precies fout?)

Om vraag 1 te kunnen beantwoorden werd een aantal borden onderzocht, waarbij hoofdzakelijk begonnen werd in het hoekveld rechts boven. Het resultaat was als volgt.

bord	beginpunt	resultaat
6 × 6	(6,6)	na 36 zetten oplossing gevonden
7 × 7	(7,7)	na 49 zetten oplossing gevonden
8 × 8	(5,6)	na 64 zetten oplossing gevonden
9 × 9	(9,9)	na 1.489 zetten oplossing gevonden
10 × 10	(10,10)	na 100 zetten oplossing gevonden
11 × 11	(11,11)	na 121 zetten oplossing gevonden
12 × 12	(5,10)	na 144 zetten oplossing gevonden
20 × 20	(20,20)	na 400 zetten oplossing gevonden
30 × 30	(30,30)	na 900 zetten oplossing gevonden
50 × 50	(50,50)	na 2.500 zetten oplossing gevonden

We zien dat in negen van de tien gevallen een oplossing gevonden wordt in het minimale aantal stappen, maar dat bij het (9×9)-bord met beginpositie

(9,9) het aantal nodige stappen groter is dan het minimale aantal van 81. Dit betekent dat we vraag 1 zelfs met dit betrekkelijk kleine aantal testposities bevestigend kunnen beantwoorden. Een mogelijke gedachte dat de heuristiek alleen bij kleine borden, i.c. een (5x5)-bord, niet optimaal zou werken, is daarmee onjuist gebleken. Aan de andere kant is het duidelijk dat we niet veel evidentie hebben gevonden voor het regelmatig (of frequent) voorkomen van niet optimale zoekprocessen. Niettemin is één voorbeeld voldoende voor de beantwoording van vraag 1, zodat we ons toe kunnen leggen op een nadere precisering van het moment waarop in de zoekboom het verkeerde pad gekozen wordt. Vanzelfsprekend zijn we er niet in geïnteresseerd 'waarom' het verkeerde pad wordt gekozen; dat weten we immers al: de heuristiek stuurt ons de verkeerde kant op!

Om vraag 2 te kunnen beantwoorden dient elke keuze eigenlijk opnieuw nader bekeken te worden. Allereerst kunnen we trachten gebruik te maken van de met dezelfde heuristiek reeds gevonden oplossing door verschuiving van de nummering van de bezochte velden. Hierbij moet evenwel bedacht worden dat het reeds bezocht zijn van een veld van invloed is op het resultaat van de heuristiek en derhalve kan leiden tot een wezenlijk andere oplossing. Indien deze methode van vergelijking gepaard gaat met tracing van het backtracking procédé kan dit evenwel resulteren in het ontdekken van de knoop waarvan bewezen kan worden dat daar een verkeerde keuze is gemaakt. Wij bezien deze methode hieronder en geven daarom eerst enkele data die van belang zijn. De oplossing van het (5x5)-bord met als beginpunt (4,2) wordt gegeven in diagram 2 en het begin van de oplossing van het (5x5)-bord met als beginpunt (4,5) in diagram 3.

19	14	3	8	21
4	9	20	15	2
13	18	11	22	7
10	5	24	1	16
25	12	17	6	23

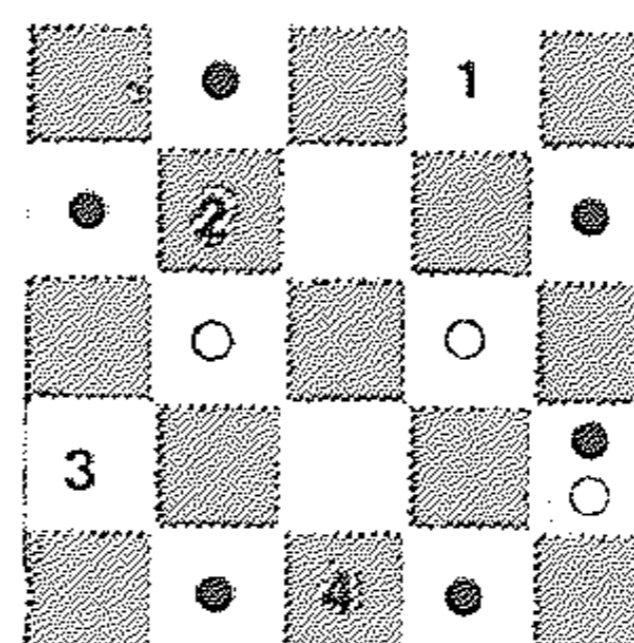


DIAGRAM 2

Een volledige oplossing voor het (5x5)-bord, met als beginpunt (4,2)

DIAGRAM 3

Het begin van een oplossing voor het (5x5)-bord met als beginpunt (4,5)

Een vergelijking tussen de oplossing in diagram 2 en het begin van de oplossing in diagram 3 geeft als resultaat een afwijking bij knoop 4. In diagram 2 wordt het veld (3,3) bezocht (ondanks het feit dat (3,1) nog niet bezocht is!), terwijl in diagram 3 het veld (3,1) bezocht wordt (volgens genomen heuristisch zonder meer het juiste veld); vanuit (3,1) zijn slechts 3 velden te bereiken (aangegeven met o) en vanuit (3,3) zijn 6 velden te bereiken (aangegeven met ●). We gaan nu globaal na wat er in de 80.000 zetten gebeurt. In diagram 4 wordt de situatie weergegeven na 2.000 zetten en in diagram 5 na 4.000 zetten.

18	7	14	1	
13	2	17	6	15
8	19	10		
3	12		16	5
20	9	4	11	

DIAGRAM 4

Situatie na 2.000 zetten

18	7	14	1	
13	2		6	15
8	17	10		
3	12		16	5
	9	4	11	

DIAGRAM 5

Situatie na 4.000 zetten

Voorts blijkt dat backtracking van relevante knopen als volgt plaatsvindt:

tussen 8.000 - 10.000 zetten verandert de 9 van plaats
 tussen 18.000 - 20.000 zetten verandert de 8 van plaats
 (gaat naar het centrum toe)
 tussen 30.000 - 32.000 zetten verandert de 7 van plaats
 tussen 72.000 - 74.000 zetten verandert de 6 van plaats
 na 80.000 zetten staat de 5 nog steeds op z'n plaats.

Een voorzichtige schatting van het aantal zetten waarna de 5 van plaats zal veranderen (zo dat nodig mocht zijn) kan gesteld worden op 150.000. Indien geen van beide andere velden voor de 5 tot een oplossing leidt zal de 4 aan de beurt zijn om te veranderen (schatting: na 250.000 zetten). Deze verandering zal dan tot een middenveldpositie (3,3) leiden met mogelijkheden om tot een snelle oplossing te komen (merk op dat dit niet noodzakelijkerwijs het geval behoeft te zijn). Overigens betekent dit dat we uit de ons ter beschikking staande gegevens niet kunnen afleiden waar het nu precies fout gaat. De mogelijkheden die overblijven zijn drievoudig, te weten (a) van 5 naar 6, (b) van 4 naar 5, (c) van 3 naar 4. Aangezien het niet onze bedoe-

ling is om koste wat het kost een oplossing te vinden, maar veeleer om aan te tonen tot welke gevolgen een 'worst case'-situatie van een goede heuristiek in een combinatorisch probleem kan leiden, sluiten we hierbij onze numerieke beschouwingen af.

3. CONCLUSIES EN GEVOLGEN

Onze conclusie is dat de introductie van een tweede heuristiek over de beginsituatie nodig is om tot een verantwoord zoekproces te komen. Deze heuristiek zou bijvoorbeeld kunnen luiden: 'begin altijd in een hoekpunt'.

We merken op dat deze heuristiek meer een wijsheid achteraf is dan een regel die geformuleerd is op basis van in het oog springende argumenten om het zoekproces te verbeteren. Bij een nadere beschouwing van de probleemanalyse en het oplossingsprocédé kunnen we vaststellen dat de heuristiek 'choose square with the lower number of future squares' een actie beschrijft die in een aantal gevallen een voortreffelijke uitwerking heeft en dat de heuristiek 'begin altijd in een hoekpunt' betrekking heeft op de beschrijving van een situatie.

Het hierboven gegeven voorbeeld toont eens te meer aan hoe moeilijk het is om de aard van heuristieken te beschrijven. Ter adstructie van deze uitspraak beschouwen we in het kort de door Lenat [3,4] ontwikkelde theorie toegepast op ons voorbeeld.

In een poging om een antwoord te vinden op de vraag naar de oorsprong van de kracht van heuristieken ontwikkelt Lenat een zogeheten 0^{de} orde theorie, waarin de fundamentele gedachte als volgt luidt: "De onderliggende oorsprong van de kracht van heuristieken is een "soort" twee-dimensionale continuïteit". In een verdere uitwerking kunnen we dit als volgt formuleren: "Als heuristiek H nuttig was (zou geweest zijn) in situatie S, dan is het waarschijnlijk dat heuristieken gelijkend op H nuttig zullen zijn in situaties gelijkend op S".

Alvorens ons betoog voort te zetten zullen we deze gedachten van Lenat eerst formaliseren.

0^{de} orde theorie: Appropriateness (Action, Situation) is nu een continue functie in beide variabelen.

Deze theorie heeft mits geaccepteerd de volgende gevolgen:

Gevolg 1: de analogie

A is nuttig in S \Rightarrow A is nuttig in S'
(S' gelijkt op S)

Gevolg 2: het voldoende zijn

A is nuttig in S \Rightarrow A' is nuttig in S
(A' gelijkt op A)

[Dit gevolg wordt meestal gebruikt bij een rechtvaardiging van
inexact redeneren]

Gevolg 3: de herinnering

A is nuttig in S (vroeger) \Rightarrow A is nuttig in S (toekomst)

Zonder diep op deze theorie in te gaan zal het duidelijk zijn dat de 0^{de} orde theorie een metafoor is. Niettemin is de theorie te aantrekkelijk om te verwerpen aangezien we het gevoel hebben dat ze dichtbij datgene ligt wat mensen doen bij het intelligent oplossen van problemen. Lenat poneert daarom als 1^{ste} orde theorie het volgende.

1^{ste} orde theorie: De 0^{de} orde theorie is een nuttige fictie.

In woorden kunnen we dit als volgt formuleren:

ALS men zich in een complexe, kennisrijke, niet-volledig begrepen wereld bevindt.

DAN is het vaak nuttig om te doen alsof het waar is dat geldt.

Appropriateness (Action, Situation) is continu in beide variabelen.

In aansluiting hierop formuleert Lenat dan een "2^{de} orde correctie" op deze theorie:

"vervang 'vaak' door een verzameling regels die aangeven wanneer het wel nuttig is om de 0^{de} orde theorie te accepteren en wanneer het niet nuttig is."

Bezien we de theorie nader in het licht van het gegeven voorbeeld te zamen met de weinige data die gepresenteerd zijn dan valt toch onmiddellijk op dat er problemen zijn: nog niet eens zo zeer met het (5x5)-bord als wel met het (9x9)-bord. Immers, toepassing van de functie Appropriateness (Action, Situation) toont een "discontinuïteit" in het punt '(9x9)-bord', vooropgesteld dat we werken met "natuurlijke" maten als 'minimaliteit', 'efficiency' en 'tijdscomplexiteit'.

In het gegeven voorbeeld lijkt het vooralsnog onmogelijk om een verzameling regels te formuleren die aangeven onder welke omstandigheden zich 'worst case'-situaties kunnen voordoen waardoor toepassing van de 0^{de} orde theorie niet toegestaan is.

Dat het gebied van heuristische benaderingen met zorg betreden dient te worden, zo we dat al niet wisten, is een van de lessen die het gegeven voorbeeld ons leert. Want als de veranderingen niet "continu" zijn en de heuristieken zonder meer toegepast worden, kan het niet alleen gebeuren dat de heuristieken waardeloos zijn, maar zelfs slechter dan waardeloos: het zoekproces wordt de verkeerde kant uitgestuurd.

4. DE RATIO BIJ EEN BESLISSING

Niet ieder probleem kan beschreven worden met zulke kwantitatieve aspecten als hierboven vermeld. We behoeven het paard in de paardesprongpuzzel slechts aan te vullen met de andere schaakstukken en de regels van het schaakspel om in een confrontatie met het zetkeuzeprobleem te bemerken dat er een groot aantal niet te kwantificeren aspecten een rol in het oplossingsprocédé speelt [8]; ook daarvoor kunnen evenwel heuristieken ontwikkeld worden [9]. In de bedrijfsleer speelt het beslissingsproces eveneens een belangrijke rol. Kwantitatieve en kwalitatieve aspecten gaan niet zelden hand in hand wanneer een manager tot een definitief oordeel komt (ofwel een rationele beslissing neemt) [10]. Bedrijfsbeslissingen kunnen worden verdeeld in drie groepen; wij nemen hiervoor de omschrijvingen zoals gegeven door Van Oorschot [11]:

"(1) beslissingen die op grond van een exacte formulering met een zeker automatisme kunnen worden genomen;

- (2) beslissingen die (nog) niet concreet zijn geformuleerd, doch op basis van een *guiding policy* door het middenkader worden genomen;
- (3) beslissingen die slechts gebaseerd zijn op ervaring, inzicht en intuïtie."

Rationele beslissingen van managers worden tegenwoordig meestal in verband gebracht met termen als 'weldoordacht', 'zakelijk verantwoord', of mogelijk zelfs 'op een voordelige productie gericht zijnde'. In dit essay wil ik laten zien dat in het Latijn de spreiding van de betekenis van het begrip 'ratio' zo groot is dat de drie genoemde groepen tot en met de heuristische groep volledig beschreven worden met behulp van de term 'rationele beslissing'; hierdoor zijn 'heuristisch' en 'algoritmisch' (b.v. brute force) in feite ten zeerste met elkaar verstrengeld.

De beslissingen in groep 1 worden uitgevoerd *ratione et via* (volgens een vaste methode), d.w.z. een reeks bewerkingen waarvan bewezen kan worden dat ze tot een oplossing leiden wordt automatisch verricht. Bij het (5x5)-bord hebben we gezien waartoe dit kan leiden, nl. een brute-force doorlopen van de boom. Naarmate de aard van de beslissingen zich beweegt naar groep 2, b.v. als de complexiteit van het domein toeneemt, zullen we onze toevlucht moeten nemen tot *quantum ratione provideri poterat* (voorzover het zich liet berekenen). We zien hier een verschuiving van 'methode' naar 'vermogen om te'. In deze context is het aardig om op te merken dat de Operation Research als discipline ontstond in en vlak na de tweede wereldoorlog: er is namelijk een direct verband tussen *guiding policy* en *ratio belli* (krijgsplan). Uit deze in groep 2 rationeel gelabelde beslissingen met een oorlogzuchtig karakter volgen vanzelfsprekend de meer alledaagse *vitae rationes* (levensplan). Voortgaande *ea ratione* (op die manier, op een menselijke manier, op een manier van de menselijke rede) komen we uiteindelijk bij de tegenwoordige betekenis van 'rationele beslissing', die overigens al op zo'n prachtige manier door Seneca onder woorden is gebracht: *ratio nihil praeter ipsum de quo agitur spectat* (de menselijke rede bekijkt alleen de zaken waar het over gaat).

In de inleiding is reeds gesteld dat rationele beslissingen meestal gebaseerd zijn op zaken als intuïtie, inzicht en inspiratie. Op dit punt aangekomen lijkt het me evenwel goed om te stellen dat goede beslissingen eerder verkregen worden door transpiratie (zweeten, hard werken op een probleem) dan

door het wachten op inspiratie. De partiële alwetendheid van een gedeeltelijk uitgevoerde brute-force methode compenseert in veel gevallen een goede heuristische benadering, om van een benadering met slecht functionerende heuristieken maar niet te spreken. Betekent dit dan anderzijds dat aan brute-force methoden de voorkeur gegeven dient te worden? Mijn antwoord is neen, er zal meer nadruk gelegd dienen te worden op valide redeneringen en het gebruik van kennis.

5. PRESTATIES EN REDENEERPROCESSEN

De bekendste redeneerprocessen zijn gebaseerd op IF-THEN-regels. We kunnen hierbij twee soorten onderscheiden:

- (i) systemen die geen gebruik maken van certainty factors; dit zijn monotone systemen van feiten; en
- (ii) systemen die gebruik maken van certainty factors; dit zijn non-monotone systemen van kennis (althans een gedeelte daarvan).

In de literatuur is veel over de voordelen en nadelen van de genoemde systemen geschreven. Het belangrijkste is evenwel dat kennis meer zaken bevat dan beschreven kan worden door een monotoon systeem (cf. Is deugd een vorm van kennis? [12]). Kennis kan opgebouwd gedacht worden uit:

- (1) feiten;
- (2) heuristieken (ervaringsregels);
- (3) beliefs (overtuigingen).

Naarmate meer waarde aan 'beliefs' toegekend werd kwamen ook niet-monotone systemen meer in de belangstelling te staan. De logica van het redeneren heeft tot nu toe echter niet zodanig praktisch gereedschap opgeleverd dat het, om met Leibniz te spreken, mogelijk zou zijn om beslissingen te nemen door slechts met pen en papier het juiste te 'berekenen' (cf. de ratio bij een beslissing).

In de Artificial Intelligence hebben we de laatste jaren een programmeertechniek zien opkomen die - aangeduid met de term 'expertsystemen' - het oude ideaal van Leibniz in vervulling zou kunnen doen gaan (zij het dat pen en papier vervangen worden door computers en beeldscherm) [13]. Een belang-

rijke onderzoekstak hierbij spitst zich toe op het evalueren van genoemde expertsystemen. Indien dit niet rechtstreeks mogelijk is, om welke reden ook maar, moet getracht worden om allereerst toepasbare technieken voor de evaluatie van expertsystemen te ontwikkelen (in feite het maken van een lijstje criteria).

Overigens hebben recente ontwikkelingen in AI er toe geleid dat er meer zicht is gekomen op de notie 'intelligentie'; nl. wat het niet is. Intelligentie is niet een algemeen probleemoplossend vermogen. Intelligentie blijkt kennisdomein gebonden te zijn. Om "kunstmatige intelligentie" te creëren dient het kennisdomein in een computer opgeslagen te worden. Dit leidt op een natuurlijke wijze tot een driedeling in het onderzoek naar de prestaties van redeneerprocessen met behulp van computers:

1. kennisacquisitie;
(hoe komt een computer (en dus een mens) aan kennis?)
2. kennisrepresentatie;
(hoe wordt kennis in computers opgeslagen?)
3. kennisinferentie;
(hoe verlopen redeneerprocessen door computers?)

Toegespitst op bedrijfsbeslissingen van managers die ondersteund worden door complexe informatiesystemen kunnen we een aantal onderzoeksvragen formuleren, die in de komende tijd beantwoord dienen te worden [14].

Ad kennisacquisitie : a) Welke organisatorische procesmodellen zijn voor welke managementsectoren van belang?
b) Wat hebben managers nodig (om te kunnen beslissen)?

Ad kennisrepresentatie: c) Wat zijn de beste pakketten die de wensen van managers verwoorden?
d) Wat kan er aan de representatie van deze pakketten verbeterd worden? (b.v. door een taalsysteem (per beroepssector)?)

Ad kennisinferentie : e) Welke soort redeneerprocessen gebruiken succesvolle managers?

- f) Hoe verlopen deze redeneerprocessen?
- g) Zijn deze redeneerprocessen zo te modelleren, dat ze toegevoegd kunnen worden aan complexe informatiesystemen?

Een beantwoording van deze vragen kan leiden tot criteria die van belang kunnen zijn bij de evaluatie van expertsystemen en redeneerprocessen alsmede bij de domein afhankelijke keuze van redeneerprocessen. Geëquipeerd met een expertsysteem of niet, voor iedere manager blijft gelden: *ratio omnia vincit* (het overleg/het afwegen overwint alles).

6. EEN WOORD VAN DANK

De schrijver is Prof. H.J.M. Lombaers erkentelijk voor de jarenlange samenwerking en de stimulerende rol die hij bij het doen van onderzoek gehad heeft. Deze bijdrage bevat de neerslag van sommige ideeën die door ons gezamenlijk zijn ontwikkeld. Voorts is hij dank verschuldigd aan Prof. S.J. Doorman M.Sc., Prof.dr. I.S. Herschberg, Drs. S. Kooi, Dr. H. Koppelaar en Prof. dr. H.G. Sol voor de vele vruchtbare discussies die geleid hebben tot een aantal in dit essay neergelegde gedachten. De competente technische ondersteuning van Mw. J.W. Pesch is essentieel geweest voor de totstandkoming van deze publikatie.

7. REFERENTIES

- [1] Polya, G. (1945). How to Solve It. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. In 1957 uitgegeven door Doubleday & Company, Garden City, New York.
- [2] McCorduck, P. (1979). Machines Who Think. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- [3] Lenat, D.B. (1982). The Nature of Heuristics. Artificial Intelligence, Vol. 19, pp. 189-249.
- [4] Lenat, D.B. (1983). The Role of Heuristics in Learning by Discovery: Three Case Studies. In Machine Learning (eds. R.S. Michalski, J.G. Carbonell and T.M. Mitchell), pp. 243-306. Tioga Publishing Company, Palo Alto, California.

- [5] Rich, E. (1983). Artificial Intelligence. McGraw-Hill Book Co. New York.
- [6] Bilguer, P.R. von (1916). Handbuch des Schachspiels. Achte Auflage, Verlag von Veit & Comp, Leipzig.
- [7] Schuh, F. (1943). Wonderlijke Problemen, Leerzaam Tijdverdrijf door Puzzle en Spel. Tweede druk, W.J. Thieme & Cie, Zutphen.
- [8] Groot, A.D. de (1965). Thought and Choice in Chess (ed. G.W. Baylor) (vertaling, met aanvullingen, van de Nederlandse versie uit 1946). Second edition 1978, Mouton Publishers, The Hague-Paris-New York.
- [9] Herik, H.J. van den (1983). Computerschaak, Schaakwereld en Kunstmatige Intelligentie. Proefschrift TH Delft. Academic Service, Den Haag.
- [10] Lombaers, H.J.M. (1975-1985). Kwantitatieve Aspecten van de Bedrijfsleer (college bb6). Management Games. (Persoonlijke Communicatie)
- [11] Oorschot, J.M. van (1976). Bedrijfsbeslissing. De Grote Winkler Prins, 7e druk, deel 3, pp. 655-656. Elsevier, Amsterdam-Brussel.
- [12] Doorman, S.J. (1980). Inleiding in de filosofie. Technische Hogeschool Delft, Onderafdeling der Wijsbegeerte en der Maatschappijwetenschappen, Vakgroep Filosofie, Delft.
- [13] Koppelaar, H. (1984). Twee nieuwe wegen voor modelbouw in de sociale wetenschappen. Theorie- en Dataverwerking. Proefschrift Universiteit van Amsterdam. Van Spaendonck, Tilburg.
- [14] Persoonlijke Communicatie met H. Koppelaar en H. Sol in de deelgroepen 'het ontwerpen van knowledge-based systemen' en 'informatiesystemen'.