

Multiple Criteria Decision Making

Multiple Criteria Decision Making met behulp van Analytic Hierarchy Process

Dr. K.R.E. Huizingh en Drs. H.C.J. Vrolijk

Het kenmerkende van Multiple Criteria Decision Making problemen is dat alternatieven op meerdere criteria moeten worden beoordeeld. Veelal kunnen deze criteria niet eenvoudig in dezelfde eenheden worden uitgedrukt (bijvoorbeeld geld), waarbij sommige criteria bovendien kwantitatief zijn en andere kwalitatief. De methode Analytic Hierarchy Process (AHP) laat de beslisser criteria die niet op een noemer zijn te herleiden expliciet tegen elkaar afwegen. Dit gebeurt door het maken van paarsgewijze vergelijkingen. AHP berekent daarna op basis van eigenvectoren de prioriteit voor elk alternatief. In dit artikel' behandelen we de werking van de methode en bespreken we voorbeelden en voor- en nadelen van toepassing van AHP binnen de bedrijfseconomie.

Inleiding

Analytic Hierarchy Process (AHP) is in de jaren zeventig ontwikkeld door Thomas Saaty van de Wharton School of Business (Saaty, 1977, 1980). In die tijd vormde het vele en ingewikkelde rekenwerk een belangrijk bezwaar tegen het gebruik van de methode in de managementpraktijk. Recente technologische ontwikkelingen, met name de opkomst van de goedkope en krachtige personal computer met gebruiksvriendelijke software, ondervangen dit bezwaar. Voor AHP worden inmiddels minimaal drie softwarepakketten aangeboden, te weten Expert Choice, HIPRE 3+

en Criterium (Buede, 1992). Recente publikaties richten zich dan ook niet meer alleen op de formele, wiskundige onderbouwing van AHP (zie Ma en Zheng, 1991; Forman, 1992; Salo en Hämäläinen, 1992, 1993) maar ook op praktische toepassingen van AHP (zie Golden et al., 1989; Saaty en Vargas, 1991; Dyer en Forman, 1991). We beginnen dit artikel met een plaatsbepaling van AHP temidden van andere methoden voor beslissingsondersteuning (paragraaf 1). In paragraaf 2 wordt de werking van AHP stap voor stap uitgelegd aan de hand van een voorbeeldprobleem. AHP maakt gebruik van matrix algebra maar deze berekeningen kunnen op eenvoudige wijze worden benaderd. In onze bespreking gebruiken we deze benadering, in de appendix staan de feitelijke formules in matrix algebra. In paragraaf 3 bespreken we toepassingen van AHP gericht op het ondersteunen van managementbeslissingen. Dit kunnen beslissingen zijn variërend van het kiezen van een auto voor buitendienstmedewerkers tot het aangaan van een joint venture, van het invoeren van het beste reorganisatievoorstel tot het aantrekken van een nieuwe medewerker. Bij het toepassen van AHP

Dr. K.R.E. Huizingh is universitair docent bij de vakgroep Bedrijfseconomie aan de Rijksuniversiteit Groningen. In juni 1992 promoveerde hij op het onderzoek 'Marketing informatiesystemen: Perspectief voor een ontwikkelingspad.'

Drs. H.C.J. Vrolijk is als onderzoeker in opleiding verbonden aan de vakgroep Bedrijfseconomie aan de Rijksuniversiteit Groningen.

blijkt dat de methode zoals beschreven door Saaty (1977, 1980) een aantal vooronderstellingen maakt waaraan niet altijd wordt voldaan (zie paragraaf 4). We eindigen dit artikel ten slotte met een bespreking van de voor- en nadelen van AHP ter ondersteuning van bedrijfseconomische beslissingen (paragraaf 5).

1 Plaatsbepaling

Een veel gebruikte weergave van het beslissingsproces is het model van Simon (1960), dat de fasen Intelligence (probleemherkenning), Design (genereren en evalueren van alternatieven) en Choice (keuze) onderscheidt. Analytic Hierarchy Process richt zich op ondersteuning van de keuze-fase. Het probleem in deze fase is hoe een alternatief te kiezen uit een verzameling bekende alternatieven. Vaak zijn meerdere, niet zelden conflicterende, criteria van belang die niet (of nauwelijks) op een noemer zijn te brengen. In de literatuur wordt dan van Multiple Criteria Decision Making gesproken. Enkele belangrijke kenmerken van Multiple Criteria Decision Making zijn (Hwang en Yoon, 1981):

- meerdere doelstellingen en/of criteria die een rol spelen;
- conflicterende criteria, bijvoorbeeld marktaandeel versus winst, motivatie van een werknemer versus kostenbesparing, of comfort van een auto versus benzineverbruik;
- de criteria worden gemeten in niet-vergelijkbare eenheden (en zijn soms ook kwalitatief van aard).

Bij Multiple Criteria Decision Making worden de volgende elementen onderscheiden: de verzameling alternatieven, de verzameling criteria, de scores van de alternatieven op elk criterium en de preferentie structuur van de beslisser (Yu, 1985). Er zijn veel methoden ontwikkeld om Multiple Criteria Decision Making te ondersteunen, lopend van eenvoudige methoden als Maximax of Maximin tot ingewikkelder methoden, waaronder Analytic Hierarchy Process (zie Huizingh en Vrolijk, 1993).

De methoden verschillen onder meer op de volgende punten:

- 1 De informatie die de methode bekend veronderstelt. AHP gaat ervan uit dat de beslisser het relatieve belang van attributen kan aangeven.
- 2 De wijze waarop informatie over de scores op de attributen en het relatieve belang van de attributen wordt verzameld. Soms is informatie niet kwantificeerbaar, incompleet of niet verkrijgbaar (Chen en Hwang, 1992, p. 4). Om toch de gewenste informatie te verkrijgen worden vaak inter- en intra-attribuut vergelijkingen gemaakt waarbij de beslisser (impliciet of expliciet) trade-offs moet maken (hoeveel marktaandeel wilt u inleveren tegen hoeveel winst, hoeveel kostenbesparing tegen hoeveel motivatie, enzovoort). AHP maakt gebruik van paarsgewijze vergelijking van alle attributen en alternatieven (zie paragraaf 2).
- 3 De door een methode gemaakte vooronderstellingen. Zo neemt AHP aan dat er geen interactie tussen de attributen bestaat, maar niet-lineaire nutscurven zijn wel mogelijk.

2 Besluitvorming met behulp van AHP

In deze paragraaf beschrijven we de werking van de methode Analytic Hierarchy Process zoals deze door Saaty (1977, 1980) is ontwikkeld. Wij onderscheiden hierbij negen stappen, zie figuur 1. De verschillende stappen zullen we uitleggen aan de hand van een voorbeeld. In dit voorbeeld moet een beslissing worden genomen over de beste lokatie voor een nieuw te bouwen fabriek.

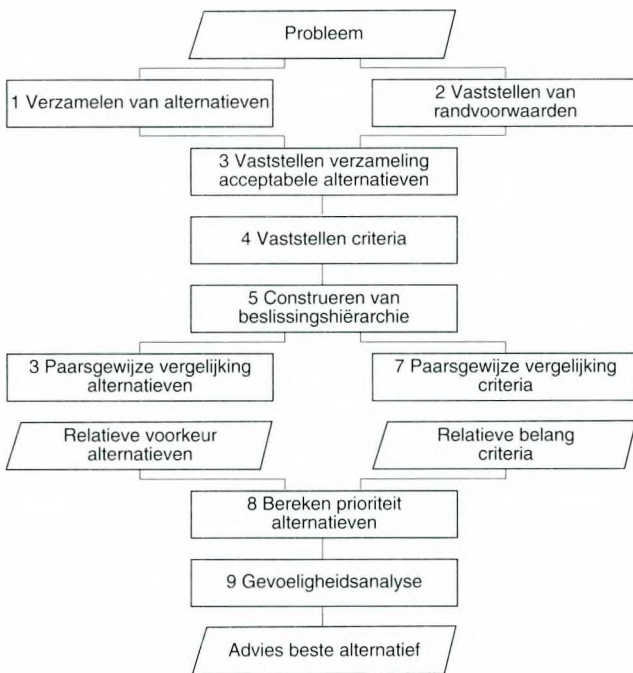
1 Verzamelen van de alternatieven

In de eerste stap wordt de verzameling alternatieven vastgesteld. In ons voorbeeld worden alle lokaties die in aanmerking komen voor het bouwen van de nieuwe fabriek gespecificeerd.

2 Vaststellen van drempelwaarden

Vervolgens worden de drempelwaarden vastgesteld, dit zijn de eisen waaraan een alternatief

Figuur 1: De negen stappen van de methode Analytic Hierarchy Process



minimaal moet voldoen. Zo kan bijvoorbeeld worden geëist dat de te bouwen fabriek binnen een straal van 50 kilometer van een zeehaven moet liggen.

3 Vaststellen verzameling acceptabele alternatieven

Alle bij stap 1 gespecificeerde alternatieven worden vergeleken met de drempelwaarden uit stap 2. Alternatieven die niet voldoen aan de drempelwaarden vallen af. In ons voorbeeld vallen de lokaties af die zich verder dan 50 kilometer van een zeehaven bevinden. We gaan ervan uit dat de lokaties A, B en C de verzameling acceptabele alternatieven vormen.

4 Vaststellen criteria

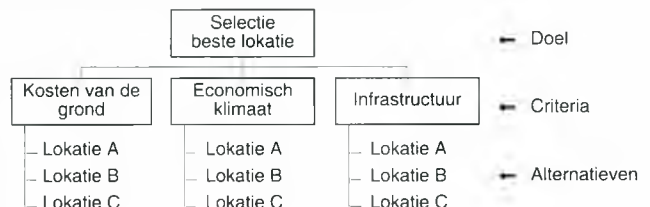
Na het vaststellen van de acceptabele alternatieven moet worden aangegeven op basis van welke attributen c.q. criteria de alternatieven zullen worden beoordeeld. Een manier om criteria te

bedenken is door van elk alternatief de sterke en zwakke punten te bepalen. In het voorbeeld beperken we ons tot de criteria Grondkosten, Infrastructuur en Economisch klimaat. Het voorbeeld is bewust eenvoudig gehouden, maar het is mogelijk extra criteria te specificeren of een criterium op te delen in subcriteria. Zo zou het criterium Infrastructuur kunnen worden opgesplitst in de bereikbaarheid per auto en de bereikbaarheid per openbaar vervoer.

5 Construeren beslissingshiërarchie

Na het bepalen van de alternatieven en de criteria wordt een beslissingshiërarchie opgesteld. Deze hiërarchie bestaat uit (minimaal) drie niveaus, namelijk het doel, de criteria en de alternatieven. Deze elementen worden in een boomstructuur weergegeven (zie figuur 2). De hiërarchie geeft de structuur van het beslissingsprobleem weer en vormt de basis voor de in de volgende fasen uit te voeren vergelijkingen.

Figuur 2: De beslissingshiërarchie



6 Paarsgewijze vergelijking alternatieven

Op basis van de beslissingshiërarchie moet de beslisser paarsgewijs de alternatieven beoordelen. De alternatieven worden hierbij vergeleken ten opzichte van het 'bovenliggende' criterium. De overige criteria worden bij deze beoordeling buiten beschouwing gelaten. De beslisser beantwoordt vragen als: 'voldoet lokatie A of lokatie B beter met betrekking tot het criterium Infrastructuur en in welke mate voldoet dat alternatief beter'. Per criterium worden alle mogelijke combinaties van alternatieven paarsgewijs vergeleken. De paarsgewijze vergelijkingen kunnen door de beslisser zowel verbaal als numeriek worden gemaakt. Bij de verbale methode maakt de

beslisser een keuze uit de omschrijvingen lopend van 'equally preferred' tot 'extremely preferred' (zie tabel 1). Bij de numerieke methode selecteert de beslisser een score van 1 tot 9, waarbij geldt dat een score van 6 aangeeft dat het ene alternatief zes keer zo sterk wordt gewaardeerd als het andere alternatief. AHP veronderstelt dat directe vertaling mogelijk is van de verbale naar de numerieke beoordeling. 'Extremely preferred' betekent dat de beslisser het ene alternatief 9 keer zo sterk waardeert als het andere (zie tabel 1).

Tabel 1: Beoordelingsschaal voor paarsgewijze vergelijkingen

Verbale Beoordeling	Numerieke Beoordeling
Equally preferred	1
Equally to moderately	2
Moderately preferred	3
Moderately to strongly	4
Strongly preferred	5
Strongly to very strongly	6
Very strongly preferred	7
Very strongly to extremely	8
Extremely preferred	9

Op basis van de paarsgewijze vergelijkingen wordt voor elk criterium de relatieve voorkeur voor de verschillende alternatieven berekend. Per criterium sommeren de relatieve voorkeuren tot 1. Bij de berekening van de relatieve voorkeuren maakt AHP gebruik van de eigenwaarden en de eigenvectoren van de beoordelingsmatrix (Saaty, 1980). In dit voorbeeld bespreken we een benaderingswijze.

De paarsgewijze vergelijkingen van de beslisser worden weergegeven in een beoordelingsmatrix. De beslisser hoeft deze matrix slechts voor de helft te vullen, elk paar alternatieven wordt slechts één keer beoordeeld. De overige beoordelingen zijn dan af te leiden uit de gemaakte vergelijkingen (de gemaakte vergelijkingen worden ten opzichte van de diagonaal gespiegeld, terwijl de diagonaal met enen wordt gevuld omdat een alternatief gelijk is aan zichzelf). De volledige beoordelingsmatrix is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: De volledige beoordelingsmatrix

Infrastructuur	Lokatie A	Lokatie B	Lokatie C
Lokatie A	1	3	4
Lokatie B	1/3	1	2
Lokatie C	1/4	1/2	1
Totaal	19/12	9/2	7

Vervolgens worden de kolomtotalen berekend. Daarna worden de kolommen genormaliseerd door de waarden in een kolom te delen door het kolomtotaal, zodat de som van de waarden voor elke kolom gelijk wordt aan één. Deze genormaliseerde beoordelingsmatrix is weergegeven in tabel 3. Ten slotte worden de relatieve voorkeuren berekend door voor elk alternatief het rijgemiddelde te bepalen (zie tabel 4).

Tabel 3: De per kolom genormaliseerde beoordelingsmatrix

Infrastructuur	Lokatie A	Lokatie B	Lokatie C
Lokatie A	12/19	2/3	4/7
Lokatie B	4/19	2/9	2/7
Lokatie C	3/19	1/9	1/7
Totaal	1	1	1

Tabel 4: De relatieve voorkeuren voor het criterium Infrastructuur

Infrastructuur	Lokatie A	Lokatie B	Lokatie C	Rijgemiddelde
Lokatie A	$\frac{12/19 + 2/3 + 4/7}{3}$			= 0,6232
Lokatie B	$\frac{4/19 + 2/9 + 2/7}{3}$			= 0,2395
Lokatie C	$\frac{3/19 + 1/9 + 1/7}{3}$			= 0,1373
Totaal				1

De paarsgewijze vergelijking van de alternatieven vindt voor elk criterium plaats. Hierdoor kan voor elk criterium de relatieve voorkeur voor de verschillende alternatieven worden berekend (zie tabel 5, p. 639).

Tabel 5: De relatieve voorkeuren voor alle drie criteria

Relatieve voorkeuren	Infrastructuur	Economie	Grondkosten
Lokatie A	0,6232	0,6479	0,0703
Lokatie B	0,2395	0,1221	0,6039
Lokatie C	0,1373	0,2299	0,3258
Totaal	1,0000	1,0000	1,0000

Doordat de beslisser alle mogelijke paarsgewijze vergelijkingen maakt kan een inconsistentie-maatstaf worden berekend. Als de beslisser alternatief A twee keer zo sterk waardeert als B en B twee keer zo sterk als C, dan zou bij volledige consistentie A vier keer zo sterk worden gewaardeerd als C. Afwijkingen in deze beoordelingen komen tot uitdrukking in de inconsistentie-maatstaf (zie appendix). Saaty (1980) geeft als vuistregel dat een inconsistentie-maatstaf kleiner dan 0,1 acceptabel is.

7 Paarsgewijze vergelijking criteria

Als er een dominant alternatief zou zijn, zou de beslisser dit alternatief nu kunnen kiezen. Doorgaans is er echter geen dominant alternatief (zie tabel 5), waardoor het noodzakelijk is het belang van de verschillende criteria vast te stellen. Dit vindt op dezelfde manier plaats als de bepaling van de voorkeur voor een alternatief bij de vorige stap, dus door het maken van paarsgewijze vergelijkingen. Telkens worden twee criteria met elkaar vergeleken waarbij de beslisser moet aangeven welk criterium (in welke mate) belangrijker is. Op basis van deze beoordelingen wordt het belang van elk criterium ten opzichte van de doelstelling berekend (zie tabel 6).

Tabel 6: Het relatieve belang voor de drie criteria

Criterium	Belang
Infrastructuur	0,5485
Kosten van de grond	0,2106
Economisch klimaat	0,2409
Totaal	1,0000

8 Synthese: berekenen prioriteit alternatieven

Het vaststellen van de prioriteiten vindt plaats met behulp van een lineair additieve functie waarbij de relatieve voorkeur voor een alternatief (gegeven een criterium) wordt vermenigvuldigd met het belang van het criterium, gesommeerd over alle criteria. Voor lokatie A is de prioriteit (zie de tabellen 5 en 6):

$$0,6232 * 0,5485 + 0,6479 * 0,2106 + 0,0703 * 0,2409 = 0,4952$$

Voor de lokaties B en C is de prioriteit respectievelijk 0,3025 en 0,2022. Hieruit volgt dat lokatie A de hoogste prioriteit heeft.

9 Gevoeligheidsanalyse

Voordat het alternatief met de hoogste prioriteit wordt gekozen, wordt eerst nog een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze analyse geeft inzicht in hoeverre de prioriteiten van de alternatieven veranderen als het belang van de criteria verandert. Naarmate de veranderingen van de prioriteiten kleiner zijn, kan men meer vertrouwen hebben in het resultaat van de analyse omdat de uitkomsten stabiel zijn. De te gebruiken softwarepakketten tonen de omslagpunten grafisch in een grafiek. Als het belang van het afgebeelde criterium een dergelijk omslagpunt overschrijdt, krijgt een ander alternatief de hoogste prioriteit.

3 Toepassingen van AHP

In de loop der jaren is AHP in zeer verschillende situaties toegepast. Wij zullen ons in dit artikel beperken tot bedrijfseconomische toepassingen (zie tabel 7, p. 640). Sommige van de in deze tabel genoemde toepassingen geven een beschrijving van hoe AHP daadwerkelijk in de praktijk bij het oplossen van een probleem is ingezet. Andere toepassingen beschrijven hoe AHP in een bepaalde probleemsituatie zou kunnen worden ingezet.

Mitchell en Wasil (1989) beschrijven enkele cases waarbij AHP door de management consulting organisatie Woods Gordon is toegepast. Zo

werd met behulp van AHP besloten hoe het budget voor de bouw en renovatie van een Canadees ziekenhuis moest worden aangewend. De verschillende afdelingen hadden in totaal 60 wensen. Het budget van 25 miljoen dollar was onvoldoende om al deze wensen te vervullen. Met behulp van AHP werden de alternatieven beoordeeld, waarbij het doel was zo goed mogelijk gebruik te maken van het budget. Onder het doel waren criteria gespecificeerd zoals de kwaliteit van de zorg, de veiligheid van de patiënten en de veiligheid van het personeel. Het gebruik van AHP leidde tot een keuze welke wensen te vervullen.

Een ander probleem waarbij AHP is gebruikt is de selectie van de meest geschikte logistieke software (Min, 1992). Door het zeer grote aanbod van softwarepakketten op het gebied van logistiek is het voor een manager niet eenvoudig de meest geschikte software te selecteren. Op basis van de criteria technische eigenschappen, kosten, service en kenmerken van de leverancier werden de alternatieven vergeleken en een keuze gemaakt.

4 Kanttekeningen bij de toepassing van AHP

In deze paragraaf bespreken we enkele aspecten van het gebruik van AHP in de praktijk, grotendeels op basis van empirisch onderzoek dat is verricht naar het toepassen van de methode.

4.1 Hiërarchie

AHP begint met het opstellen van een beslissingshiërarchie. De uitgebreidheid van de hiërarchie hangt af van de complexiteit van het probleem en de mate van detaillering die nodig is om het probleem op te lossen. In de praktijk kan het aantal (sub-)criteria snel oplopen. Srinivisan en Bolster (1989) beschrijven een voorbeeld van het waarden van obligaties waarbij meer dan 70 subcriteria zijn gespecificeerd.

De vorm van de hiërarchie heeft grote invloed op het totaal aantal te maken paarsgewijze vergelijkingen. Per niveau moeten $n * (n - 1) / 2$ beoordelingen worden gemaakt. Bij 8 criteria op een

Tabel 7: Bedrijfseconomische toepassingen van AHP

Toepassing	Literatuur
Budget allocatie	Mitchel en Wasil (1989)
Prioriteitstelling projecten	Mitchel en Wasil (1989)
Toewijzen van contracten	Mitchel en Wasil (1989)
Investeringsselectie	Bahmani, Yamoah, Basseer en Rezvani (1987)
Selectie van R&D projecten	Liberatore (1987)
Capital budgetting under stochastic inflation rates and risk premiums	Jensen (1987)
Portfolio selectie	Saaty, Rogers en Pell (1980)
Kopen of leasen	Vargas en Saaty (1981)
Consumenten keuze-probleem	Bahmani, Javalgi en Blumberg (1986)
Selectie produkt/markt-combinaties	Wind en Saaty (1980)
Produktontwikkeling	Wind en Saaty (1980)
Vaststellen marketing-mix	Wind en Saaty (1980)
Diverse marketingtoepassingen	Dyer en Forman (1991)
Software selectie	Min (1992)
Selectie informatie-management	Seidman en Arbel (1984)
Selectie database managementsysteem	Zahedi (1985)
Automatisering	Bard (1986)
Voorspellen wisselkoersen	Blair, Nachtmann, Olson en Saaty (1987)
Lange-termijnplanning	Emshoff en Saaty (1982)
Plannen audit procedure	Lin, Mock en Wright (1984)
Selectie nieuwe medewerker	Lootsma (1980)
Rangschikken van landen op basis van indicatoren	Peniwati en Hsiao (1987)
Macro-economische voorspellingen	Saaty (1987)

niveau moeten $8 * 7 / 2 = 28$ paarsgewijze vergelijkingen worden gemaakt. Zouden we echter de 8 criteria in twee groepen van 4 opdelen dan moeten op beide subniveaus $4 * 3 / 2 = 6$ vergelijkingen worden gemaakt plus 1 beoordeling op het direct daarboven gelegen niveau, in totaal dus $2 * 6 + 1 = 13$ vergelijkingen. Dit betekent een vermindering van 15 vergelijkingen. Saaty (1980) noemt naast het efficiency-voordeel ook de grotere mate van consistentie die bij clustering kan worden bereikt.

Uit theoretisch oogpunt geldt de voorwaarde dat

de criteria op een bepaald niveau onafhankelijk zijn van elkaar. AHP veronderstelt dat er geen interactie-effecten tussen criteria bestaan, wat in de praktijk niet altijd zo is. Zo bespreken Dyer en Forman (1991) de keuze van een auto aan de hand van de criteria aanschafprijs, comfort en benzineverbruik. Omdat een duurdere auto over het algemeen meer comfort biedt en meer benzine verbruikt, zijn de drie criteria niet echt onafhankelijk.

In de meest eenvoudige vorm bestaat een hiërarchie uit drie niveaus: op het hoogste niveau de doelstelling, daaronder de criteria en op het laagste niveau de alternatieven. De hiërarchie wordt met extra niveaus uitgebreid door subcriteria op te nemen. Dyer en Forman (1991, p. 127) geven aan dat het toevoegen van niveaus ook kan worden gebruikt als meerdere doelstellingen, scenario's of beslissers een rol spelen. In al deze situaties kan een extra niveau in de hiërarchie worden opgenomen, zodat AHP ook in complexere beslissingssituaties kan worden gebruikt.

4.2 Paarsgewijze vergelijkingen

Paarsgewijs worden alternatieven (of criteria) met elkaar vergeleken. Een voordeel hiervan is dat op deze manier ook niet-lineaire nutscurven kunnen worden opgegeven. Kritiek in de literatuur richt zich onder meer op de wijze waarop de beslisser de voorkeur tussen een tweetal alternatieven (of criteria) kenbaar maakt. Zahedi (1986) noemt het beperkte bereik van de invoergegevens (van 1/9 tot 9) een onderwerp voor nader onderzoek.

De argumenten voor de beoordelingsreeks 1-9 zijn met name gebaseerd op ervaringen met deze schaal. De experimenten die met de 9-puntsschaal zijn uitgevoerd, zijn zeer bevredigend verlopen (Saaty, 1980). De schaal bleek geschikt te zijn voor het vastleggen van verschillen in de voorkeuren van mensen. Het tweede argument is gebaseerd op de cognitieve beperkingen van de mens. Het korte-termijngeheugen is niet in staat om meer dan 7 ± 2 elementen te bevatten (Miller, 1956). Een vergelijking van meer dan 9 elementen op één niveau is dus niet goed mogelijk. Wanneer alle 9 elementen enigszins van elkaar afwijken is een schaal nodig van 9 punten om dit

onderscheid duidelijk te maken (Saaty, 1980). Een uitbreiding van AHP die expliciet aandacht besteedt aan de onzekerheid van de oordelen van een beslisser is interval AHP. Saaty en Vargas (1987) en Salo en Hämäläinen (1990) beschrijven een aanpak waarbij de beslisser geen exacte waarde hoeft op te geven maar kan volstaan met het aangeven van een interval van het relatieve belang van de ene factor ten opzichte van de andere. Zo kan de beslisser bijvoorbeeld stellen dat de snelheid twee tot drie keer zo belangrijk is als het comfort van de auto. Naast het weergeven van de onzekerheid en de twijfel van de beslisser kan interval AHP ook worden gebruikt om het bereik van de individuele oordelen binnen een groep beslissers op te geven (Hämäläinen et al., 1992).

Een ander punt van discussie betreft de wijze waarop de beslisser de paarsgewijze vergelijkingen maakt via de numerieke of verbale methode. Het probleem is dat AHP verbale beoordelingen direct in getallen omzet. Stel dat de beslisser in de verbale modus alternatief A iets beter vindt dan B ('equally to moderately preferred'). AHP kent aan dit oordeel de score 2 toe, wat inhoudt dat de beslisser van mening is dat A twee keer zoveel voorkeur verdient als B. Het is zeer de vraag of de beslisser dit bedoelde met 'ik heb A iets liever dan B'. Dyer en Forman (1991) suggereren dat dit geen bezwaar hoeft te zijn mits het opgeven van verbale en numerieke oordelen niet door elkaar gebeurt. De rangorde van de alternatieven zal in dat geval wel overeen komen met de perceptie van de beslisser, dit hoeft echter niet te gelden voor de berekende verschillen in prioriteit tussen alternatieven.

4.3 Berekening gewichten en inconsistentie

De voorkeuren die AHP berekent zijn ratio geschaald (Saaty, 1980; Forman, 1992). Het gebruik van ratio gegevens in AHP wijkt af van de traditionele methoden van beslissingsanalyse die met name van interval gegevens gebruik maken (Harker en Vargas 1987). Een groot deel van de literatuur in de psychologie accepteert echter het gebruik van ratio schalen in het meten van wat wordt genoemd de 'relative intensity of

stimuli' (Stevens 1957; Stevens en Galanter, 1964; Krantz, 1972).

AHP berekent de gewichten door middel van eigenvectoren. In de literatuur worden hiervoor tal van alternatieve berekeningswijzen voorgesteld, waaronder het rekenkundig gemiddelde, het harmonische gemiddelde en het geometrische gemiddelde. Zahedi (1986, p. 103) geeft een uitgebreid overzicht van literatuur op dit gebied.

Het berekenen van een inconsistentie-maatstaf heeft als nadeel het moeten maken van alle mogelijke paarsgewijze vergelijkingen, maar als voordeel dat de beslisser inzicht krijgt in de mate van inconsistentie. Dyer en Forman (1991, pp. 140-141) noemen vijf redenen voor inconsistentie: (1) het maken van typefouten, (2) een gebrek aan informatie, (3) een gebrek aan concentratie, (4) inconsistentie in wat we aan het modelleren zijn (een bekend voorbeeld zijn voetbaluitslagen: als Feyenoord van Ajax wint maar van PSV verliest, betekent dat niet automatisch dat PSV van Ajax wint) en (5) inadequate modelstructuur (praktische overwegingen zouden ertoe kunnen leiden dat een model eenvoudig wordt gehouden ten koste van de volledigheid van het model).

4.4 Prioriteiten

De uitkomst van een AHP-analyse is een overzicht van de relatieve prioriteiten voor de beoordeelde alternatieven. Het is de vraag wanneer een verschil tussen twee alternatieven dermate groot is dat dit verschil als significant kan worden beschouwd. In een specifieke situatie kan inzicht in het antwoord op deze vraag worden verkregen met gevoeligheidsanalyse. Omgekeerd is bekend dat als twee alternatieven vrijwel gelijkwaardig zijn, Dyer (1990) spreekt van 'near copies', zich een probleem kan voordoen dat als 'rank reversal' bekend staat. In dat geval kan de rangorde van de alternatieven zich wijzigen als alternatieven worden verwijderd of toegevoegd. Belton en Gear (1983) noemen het voorbeeld van de keuze uit drie auto's, een Chevrolet, een Honda en een Porsche. Uit de evaluatie volgt een voorkeur voor de Honda. Na het toevoegen van een tweede Honda, met een andere kleur, wordt de Porsche het sterkst geprefereerd, doordat de voorkeur

voor de Honda nu wordt verdeeld over twee alternatieven. Een manier om het probleem van rank reversal te verminderen is om uitsluitend unieke alternatieven in de beslissingshiërarchie op te nemen.

Saaty en Vargas (1984) en Forman (1992) stellen dat rank reversal niet altijd negatief hoeft te zijn. Soms is het wenselijk omdat rank reversal ook in het dagelijks leven optreedt. De rank reversal kan volgens Harker en Vargas (1987) vaak worden verklaard door het feit dat er impliciet een nieuw criterium wordt toegevoegd bij het introduceren van een nieuw alternatief.

5 Evaluatie en conclusies

In deze paragraaf bespreken we een aantal sterke en zwakke punten van Analytic Hierarchy Process vanuit het gezichtspunt van ondersteuning van bedrijfseconomische beslissingsprocessen. We beginnen met de sterke punten van AHP:

- 1 De beslissingshiërarchie. Door een complex probleem in de vorm van een hiërarchie te structureren, moet de beslisser een aantal achtereenvolgende beoordelingen maken en blijft het probleem hanteerbaar (Martin, 1973). Andere voordelen zijn het kunnen nagaan hoe veranderingen in prioriteiten op het ene niveau doorwerken op andere niveaus, het verkrijgen van inzicht in de structuur van het beslissingsprobleem en het eenvoudig kunnen aanpassen of uitbreiden van de structuur (Saaty, 1980).
- 2 Het beoordelen van niet-vergelijkbare criteria. Voor AHP maakt het geen verschil dat de criteria in verschillende eenheden zijn gemeten, of deels kwantitatief en deels kwalitatief zijn.
- 3 Het expliciet moeten maken van keuzes. Bij het nemen van beslissingen komt het veelvuldig voor dat allerlei keuzes impliciet worden gemaakt. AHP dwingt de beslisser(s) alle afwegingen, hetzij tussen alternatieven hetzij tussen criteria, expliciet te maken.
- 4 De beslisser maakt relatieve in plaats van absolute oordelen. AHP is gebaseerd op het maken van paarsgewijze vergelijkingen. De beslisser hoeft geen absoluut oordeel te

geven ('een auto met veel comfort geef ik nutswaarde 10') maar wordt gevraagd om relatieve beoordelingen ('met betrekking tot het criterium Comfort heb ik veel liever auto A dan auto B').

- 5 De beoordelingen kunnen verbaal, numeriek of grafisch worden opgegeven. Sommige beslissers zijn sterk kwantitatief ingesteld, anderen zullen de voorkeur hebben hun oordeel verbaal of grafisch weer te geven. De softwarepakketten waarmee een AHP-analyse kan worden uitgevoerd bieden alle drie manieren om paarsgewijze vergelijkingen uit te voeren.
- 6 Het berekenen van een inconsistentie-maatstaf. Door het gebruik van redundante vergelijkingen kan de mate van inconsistentie van een reeks vergelijkingen worden berekend. Hoewel Forman (1992) terecht waarschuwt dat het nastreven van consistentie nooit een doel op zichzelf mag worden, kan deze maatstaf wel een indicatie geven van de onderwerpen waarover extra informatie nodig is.
- 7 Gevoeligheidsanalyse. Bij het interpreteren van de AHP-resultaten en het nemen van de uiteindelijke beslissing vormen gevoeligheidsanalyses een belangrijk hulpmiddel (zie paragraaf 2). Als de uitkomsten weinig gevoelig zijn voor kleine wijzigingen in de beoordelingen dan hebben onzekerheden in de vergelijkingen een minder grote invloed op de uiteindelijke resultaten. Op deze wijze kan het vertrouwen in de uitkomst van de AHP-analyse worden vergroot.

Naast de voorgaande sterke punten kent AHP ook een aantal minder sterke punten die met name bij de praktische toepassing van AHP belangrijk zijn:

- 1 De benodigde voorkennis van AHP. Het is onduidelijk in hoeverre de beslisser ondersteuning nodig heeft bij het toepassen van AHP. Er bestaat nauwelijks literatuur over toepassingen van AHP waarbij de beslisser zelfstandig AHP gebruikt. Vrijwel altijd speelt een onderzoeker of een andere intermediair, bijvoorbeeld een analist, een ondersteunende rol. Schoner en Wedley (1989) suggereren

dat ervaring met de methode tot meer consistente resultaten leidt.

- 2 De criteria moeten onderling onafhankelijk zijn. Bij veel beslissingsproblemen valt het niet mee om echt onafhankelijke criteria te vinden. Met name in situaties waarin de prijs een criterium vormt lijkt dit probleem zich voor te doen. Een hogere prijs gaat vaak samen met een hogere score op andere criteria. De voorwaarde van onafhankelijke criteria is overigens noodzakelijk voor het mogen gebruiken van de lineair additieve nutsfunctie in de synthese-fase. Deze functie veronderstelt dat er geen interacties bestaan tussen de verschillende criteria. Als criteria toch sterk met elkaar samenhangen moeten ze worden gegroepeerd tot een meer algemeen kenmerk.
- 3 Verificatie van de beslissingshiërarchie. De kwaliteit van de uitkomsten van een AHP-analyse wordt voor een groot deel bepaald door de kwaliteit van de probleembeschrijving, de beslissingshiërarchie. AHP biedt geen hulpmiddelen om de beschrijving van het probleem te verifiëren. Alleen als een beslisser zeer veel moeite heeft met het maken van een paarsgewijze vergelijking wordt gesteld dat het toevoegen van een nieuw criterium of het splitsen van een bestaand criterium zou kunnen helpen. Het is wenselijk al voor het maken van de paarsgewijze vergelijkingen te kunnen beoordelen in welke mate de beslissingshiërarchie correct en volledig is.
- 4 Het maken van de vergelijkingen kost veel tijd. Om de inconsistentie-maatstaf te kunnen berekenen moeten alle mogelijke paarsgewijze vergelijkingen worden gemaakt. Het maken van al deze vergelijkingen kost veel tijd (Forman, 1992) en kan door concentratieverlies een negatief effect hebben op de consistentie van de beoordelingen. Schoner en Wedley (1989) stellen een alternatieve methode voor waardoor aanzienlijk minder paarsgewijze vergelijkingen behoeven te worden gemaakt, maar dan kan de inconsistentie-maatstaf niet meer worden berekend.
- 5 Directe vertaling van verbale in numerieke

beoordelingen. Intuïtief gezien doet de directe vertaling van verbale oordelen in getallen tussen 1 en 9 merkwaardig aan. Als de beslisser echter consequent de ene of de andere methode gebruikt, hoeft dit geen gevolgen te hebben voor de uiteindelijke rangorde van de alternatieven. Dit kan echter wel van invloed zijn op de interpretatie van de berekende prioriteiten door de beslisser.

- 6 Bepalen significantie van de uitkomsten. AHP berekent de prioriteiten tussen de verschillende alternatieven. De methode biedt echter geen beslissingsregel (of toets) om vast te kunnen stellen of het verschil in prioriteit tussen alternatieven significant is, dus dermate groot dat de beslisser hierop de keuze kan baseren. Gevoeligheidsanalyse geeft een goede indicatie van de mate waarin de uitkomsten afhankelijk zijn van wijzigingen in de beoordelingen, maar ook dan wordt de uiteindelijke keuze overgelaten aan de interpretatie van de beslisser.

De besproken sterke punten maken van AHP een methode die zeker bruikbaar is bij ondersteuning van managementbeslissingen. Hierbij komt dat dankzij gebruiksvriendelijke PC-software het gebruik van AHP eenvoudig is. Daarnaast hebben we ook een aantal minder sterke punten van AHP genoemd. Deze vormen niet alleen aandachtspunten bij toepassing van AHP in de managementpraktijk, maar kunnen ook een leidraad vormen bij het doen van verder onderzoek om het gebruik van de methode te stimuleren. Veel van het onderzoek naar AHP dat in de afgelopen vijftien jaar is verricht concentreerde zich op de (wiskundige) formele kant van de methode. Om het gebruik van de methode ter ondersteuning van bedrijfseconomische beslissingsprocessen te stimuleren, is naar onze mening meer onderzoek nodig dat zich richt op de inbedding van de methode in de praktijk van managementbeslissingen.

Appendix: Formele berekening AHP

Berekening gewichten

De resultaten van de paarsgewijze beoordelingen kunnen in een n*n matrix worden uitgezet, waarbij n het aantal factoren (een alternatief of een criterium) aangeeft. In beoordelingsmatrix A = (a_{ij}) vormt de onderste helft het spiegelbeeld van de bovenste helft (wanneer alternatief A 2 zo sterk wordt gewaardeerd als alternatief B volgt hieruit dat alternatief B 1/2 zo sterk wordt gewaardeerd als alternatief A), en de elementen op de diagonaal hebben de waarde 1 (een factor wordt ten opzichte van zichzelf even sterk gewaardeerd). a_{ij} geeft het resultaat weer van de paarsgewijze vergelijking van de elementen i en j. De beslisser maakt n (n - 1) / 2 beoordelingen. De gehele beoordelingsmatrix ziet er dus als volgt uit.

$$a = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

De paarsgewijze beoordelingen worden vervolgens omgezet naar gewichten w van de verschillende factoren. De bepaling van de gewichten van de factoren vindt plaats aan de hand van de eigenvector van de beoordelingsmatrix.

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

λ_{max} is hierbij de grootste eigenwaarde en w is de eigenvector. De vector w geeft de gewichten van de verschillende factoren aan.

Naarmate de beoordelingen consistenten zijn zal de waarde van λ_{max} naar n toe gaan. Bij volledige consistentie geldt:

$$a_{ij} = \frac{w_j}{w_i}$$

dit kan worden herschreven als:

$$a_{ij} * \frac{w_i}{w_j} = 1$$

hieruit volgt dat:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \frac{1}{w_i} = n$$

dit kan worden herschreven als:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = n w_i$$

Hieruit volgt dat $Aw = nw$. Dit geeft weer dat w een eigenvector is van A met n als eigenwaarde. Bij perfecte consistentie worden de gewichten bepaald door de eigenvector.

Berekening prioriteiten

De paarsgewijze beoordelingen worden uitgevoerd op een bepaald niveau ten opzichte van het niveau daarboven. De gewichten van elk alternatief gegeven een criterium moeten vervolgens worden geaggregeerd over alle criteria. Deze aggregatie vindt plaats met behulp van een lineaire additieve functie, waar w_a het gewicht van alternatief a weergeeft, v_c het belang van het criterium en w_a^c de relatieve voorkeur voor alternatief a gegeven criterium c .

$$w_a = \sum_{c \in C} v_c * w_a^c$$

Inconsistentie-maatstaf

De beoordelingen zijn consistentere naarmate λ_{max} dichter in de buurt ligt van n . λ_{max} kan dan ook worden gebruikt bij het berekenen van de consistentie-index (C.I.).

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

De consistentie-index kan vervolgens worden gebruikt voor de berekening van de consistentieratio (CR) waarbij geldt dat

$$CR = (CI / ACI)$$

ACI is de gemiddelde index in het geval van random gegenereerde gewichten. Volgens een vuistregel van Saaty (1980) moet de consistentieratio een waarde hebben van 0,1 of kleiner.

Literatuur

- Bahmani, N., R.G. Javalgi en H. Blumberg (1986), An application of the analytical hierarchy process for a consumer choice problem, *Developments in Marketing Science*, 9, pp. 402–406.
- Bahmani, N., D. Yamoah, P. Basseer en F. Rezvani (1987), Using the analytic hierarchy process to select investment in a heterogeneous environment, *Mathematical modelling*, 8, pp. 157–162.
- Bard, J.F. (1986), A multiobjective methodology for selecting subsystem automation options, *Management Science*, 32(12), pp. 1628–1641.
- Belton, V. en T. Gear (1983), On a Short-coming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies, *Omega*, Vol. 11, No. 3.
- Blair, A.R., R. Nachtmann, J.E. Olson, T.L. Saaty (1987), Forecasting foreign exchange rates: an expert judgment approach, *Socio-economic planning sciences*, 21(6), pp. 363–369.
- Buede, D.M. (1992), Software Review: Three Packages for AHP: Criterium, Expert Choice and HIPRE III+, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1,2, pp. 119–112.
- Chen, S.J. en C.L. Hwang (1992), *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York.
- Dyer, J.S. (1990), Remarks on the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, vol. 36, no. 3, pp. 249–258.
- Dyer, R.F. en E.H. Forman (1986), *AHP as a Method for Selecting or Combining Forecasts*, Proceedings of the International Conference of Forecasting, Parijs, juni 1986.
- Dyer, R.F. en E.H. Forman (1991), *An Analytic Approach to Marketing Decisions*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Emshoff, J.R. en T.L. Saaty (1982), Applications of the analytic hierarchy process to long range planning, *European Journal of Operational Research*, 10(2), pp. 131–143.
- Forman, E.H. (1992), Facts and Fictions about the Analytic Hierarchy Process, in: A. Goicoechea, L. Duckstein en S. Zionts eds., *Multiple Criteria Decision Making, Proceedings of the Ninth International Conference: Theory and Applications in Business, Industry, and Government*, Springer Verlag, New York.
- Golden, B.L., E.A. Wasil en D.E. Levy (1989), Applications of the Analytic Hierarchy Process: A Categorized, Annotated Bibliography, in: B.L. Golden, E.A. Wasil en P.T. Harker (red.), *The Analytic Hierarchy Process; Applications and Studies*, Springer-Verlag, Berlin.
- Hämäläinen, R.P., A.A. Salo en K. Pöysti (1992), *Observations about consensus seeking in a multiple criteria environment*, Twenty-fifth Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society Press, California.
- Harker, P.T. en L.G. Vargas (1987), The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, Vol. 33, No. 11, pp. 1383–1403.
- Huizingh, K.R.E. en H.C.J. Vrolijk (1993), *Beslissingsondersteuning met Analytic Hierarchy Process; een discussie van de methode en bedrijfseconomische toepassingen*, IEO-memorandum, 40 pag., Economische Faculteit, Rijksuniversiteit Groningen.

- Hwang, C.L. en K. Yoon (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, New York.
- Jensen, R.E. (1987), International investment risk analysis: extensions for multinational corporation capital budgeting models, *Mathematical Modelling*, 9(3-5), pp. 265-284.
- Krantz, D.H. (1972), A Theory of Magnitude Estimation and Cross-Modality Matching, *J. Math. Psychology*, 2, pp. 168-199.
- Liberatore, M.J. (1987), An extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection and Resource Allocation, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 34(1), pp. 12-18.
- Lin, W.T., T. Mock en A. Wright (1984), The Use of the Analytic Hierarchy Process as an Aid in Planning the Nature and Extent of Audit Procedures, Auditing: a *Journal of Practice and Theory*, 4(1), pp. 89-99.
- Lootsma, F.A. (1980), Saaty's priority theory and the nomination of a senior professor in operations research, *European Journal of Operations Research*, 4(6), pp. 380-388.
- Ma, D. en X. Zheng (1991), 9/9 - 9/1 Scale Method of AHP, Proceedings of the 2nd International Symposium on the AHP, vol. I, Pittsburgh, PA, pp. 197-202.
- Martin, J. (1973), *Design of Man-Computer Dialogues*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Miller, G.A. (1956), The magical number seven plus or minus two: some limitations on our capacity for processing information, *Psychological Review*, Vol. 63, March, pp. 81-97.
- Min, H (1992), Selection of Software: the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 22 no. 1, pp. 42-52.
- Mitchell, K.H. en E.A. Wasil (1989), *AHP in practice: applications and observations from a management consulting perspective. The analytic hierarchy process; applications and studies*, Springer-Verlag, Berlin.
- Peniwati, K. en T. Hsiao (1987), Ranking countries according to economic, social, and political indicators, *Mathematical Modelling*, 9(3-5), pp. 203-209.
- Saaty, T. (1977), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.
- Saaty, T. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1987), A new macroeconomic forecasting and policy evaluation method using the Analytic Hierarchy Process, *Mathematical Modelling*, 9(3-5), pp. 219-231.
- Saaty, T.L., P.C. Rogers en R. Pell (1980), Portfolio selection through hierarchies, *The Journal of Portfolio Management*, 6(3), pp. 16-21.
- Saaty, T.L. en L.G. Vargas (1984), The Legitimacy of Rank Reversal, *Omega*, Vol. 12, pp. 514-516.
- Saaty, T.L. en L.G. Vargas (1987), Uncertainty and Rank Order in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 32, pp. 107-117.
- Saaty, T.L. en L.G. Vargas (1991), *Prediction, Projection and Forecasting: Applications of the Analytic Hierarchy Process in Economics, Finance, Politics, Games and Sports*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Salo A.A. en R.P. Hamäläinen (1990), *Decision Support Under Ambiguous Preference Statements, Proceedings van AIRO'90 Models and Methods for Decision Support*.
- Salo, A. en R.P. Hamäläinen (1992), Processing Interval Judgments in the Analytic Hierarchy Process, in: A. Goicoechea, L. Duckstein en S. Zionts eds., *Multiple Criteria Decision Making, Proceedings of the Ninth International Conference: Theory and Applications in Business, Industry, and Government*, Springer Verlag, New York.
- Salo, A.A. en R.P. Hamäläinen (1993), *On the Measurement of Preferences in the Analytic Hierarchy Process*, Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory Research Reports, A 47.
- Schoner, B. en W.C. Wedley (1989), Alternative Scales in AHP, in: A.G. Lockett en G. Islei (eds.), *Improving Decision Making in Organizations*, Springer-Verlag, Berlin.
- Seidmann, A en A. Arbel (1984), An analytical approach for planning computerized office systems, *Omega*, 11(6), pp. 607-617.
- Simon, H.A. (1960), *The New Science of Management Decisions*, Harper and Brothers, New York.
- Srinivasan, V. en P. Bolster (1989), An Expert System for Assigning Investment Quality Ratings using the AHP, in: Lockett A.G. en G. Islei (red.), *Improving Decision Making in Organizations*, Springer-Verlag, Berlijn.
- Stevens, S.S. (1957), On the Psychological Laws, *Psychological Review*, 64, pp. 153-181.
- Stevens, S.S. en E. Galanter (1964), Ratio Scales and Category Scales for a Dozen Perceptual Continua, *Journal of Experimental Psychology*, 54, pp. 377-411.
- Vargas, L.G. en T.L. Saaty (1981), Financial and intangible factors in fleet lease or buy decisions, *Industrial Marketing Management*, 10(1), pp. 1-10.
- Wind, Y. en T.L. Saaty (1980), Marketing applications of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 26(7), pp. 641-658.
- Yu, P.L. (1985), *Multiple Criteria Decision Making: Concepts, Techniques, and Extensions*, Plenum Press, New York.
- Zahedi, F (1985), Database management system evaluation and selection decisions, *Decision Sciences*, 16(1), pp. 91-116.
- Zahedi, F. (1986), The Analytic Hierarchy Process, A Survey of the Method and its Applications, *Interfaces*, 16: 4 July-August, pp. 96-108.

Noot

1 Dit artikel is gebaseerd op een Intern Memorandum van de Faculteit der Economische Wetenschappen, Rijksuniversiteit Groningen.