

MULTICRITERIA METHODEN:

Een gevoeligheidsanalyse aan de hand
van de vestigingsplaatsproblematiek
van kerncentrales

J.A.Hartog E.Hinloopen P.Nijkamp¹

Samenvatting

Dit paper bespreekt beknopt 3 klassen van kwalitatieve multicriteria methoden. Door middel van een empirisch keuzeprobleem van de vestigingsplaatsen van kerncentrales (op basis van een RARO rapport hierover) wordt nagegaan, in hoeverre eindresultaten beïnvloed worden door het gebruik van specifieke methoden. De eindconclusie is dat een zekere methode gevoeligheid onvermijdelijk is, maar dat de finale rangschikking van keuze alternatieven - bij een verzameling goede methoden - toch redelijk stabiel is.

1. Introductie.

Plan- en projectevaluatie is een wezenlijk onderdeel van een op efficiency gerichte beleidsanalyse. Zolang er echter geen ondubbelzinnige efficiency-criteria te formuleren zijn die bovendien door ieder geaccepteerd worden, is beleidsanalyse in de meeste gevallen een vorm van conflictanalyse, waarbij onderling uiteenlopende beleidsoverwegingen tegelijkertijd in de beschouwing moeten worden betrokken. Deze omstandigheid heeft vooral geleid tot de opkomst van de zgn. multicriteria methoden.

De multicriteria methodiek is in Nederland inmiddels herhaaldelijk toegepast, bijv. bij de planning van de Maasvlakte, de besluitvorming rond een industrie-eiland in de Noordzee, de ontgrindingsproblematiek in Limburg, het Structuurschema Burgerluchtvaartterreinen, het provinciaal waterbeheer, de Markerwaardproblematiek, de stadsuitbreiding van Den Haag etc..

In al deze gevallen ging het om plannen of projecten met conflicterende

¹P. Nijkamp
Vrije Universiteit
Faculteit der Economische Wetenschappen
Postbus 7161
1007MC Amsterdam
020-5484930

doelstellingen. In veel van deze multicriteria methoden ging het vaak nog om een extra probleem, nl. het in de beschouwing betrekken van moelijk kwantificeerbare effecten. Er is inmiddels wel een heel scala van multicriteria methoden, maar er zijn er maar weinig die op wiskundig of statistisch verantwoorde wijze ordinale, lexicografische of binaire informatie kunnen verwerken. Daarnaast zijn er ook gemengde multicriteria vraagstukken, waarvan sommige effecten hard en andere effecten zacht meetbaar zijn. Voor deze vraagstukken is slechts een beperkt aantal methoden beschikbaar.

Dit paper richt zich vooral op deze laatste methoden. Aan de hand van een actueel probleem, nl. de vestigingsplaatsproblematiek van kerncentrales, zal voor deze set methoden nagegaan worden hoe sterk methode-gevoelig de eindresultaten zijn.

2. Drie Methoden voor Multicriteria Analyse.

In dit artikel zijn drie methoden van multicriteria analyse (MCA) geselecteerd waarvan wij de resultaten zullen vergelijken met die welke verkregen zijn in een in 1986 verschenen RARO rapport over de vestigingsplaats van kerncentrales. De door ons gehanteerde methoden zijn:

- 1) regime methode Israëls-Keller
- 2) regime methode Hinloopen-Nijkamp
- 3) numerieke interpretatie methode.

De eerste twee methoden zijn besproken in recente nummers van Kwantitatieve Methodes (zie Israëls en Keller, 1986; Hinloopen en Nijkamp, 1986). Waarschijnlijk echter behoeft het wel enige uitleg waarom wij uit deze drie methoden er twee gekozen hebben die op het eerste gezicht zoveel gemeen hebben, dat verwacht mag worden dat hun resultaten niet veel uiteen zullen lopen. De twee regimemethodes hebben behalve de naam inderdaad veel gemeen. Het uitgangspunt van beide is paarsgewijze vergelijking van alternatieven, en beide destilleren uit iedere vergelijking een regime, d.w.z. een vector bestaande uit plussen en minnen (of enen en nullen), zoals in beide reeds genoemde artikelen wordt uiteengezet. Maar daar blijft het niet bij.

Beide methoden gaan er in wezen van uit dat het ordinale karakter van de prioriteiten of van effecten terug te voeren is op gebrek aan kennis. Dat wil zeggen dat bij toenemende kennis het ordinale karakter van die variabelen cardinaal gaat worden. Het bekende voorbeeld dat in dit verband veel aangehaald wordt is het warmtebegrip, dat aanvankelijk slechts de uitspraak "meer of minder warm" toe liet maar met de vooruitgang van de natuurkunde uiteindelijk meetbaar bleek te zijn op een ratio-schaal. Vooruitgang van wetenschap bestaat

uit het versterken van de meetbaarheid, zo luidt dan het argument. Dit standpunt wordt vanzelfsprekend niet algemeen aanvaard, zeker niet binnen de alpha-wetenschappen waar men vaak werkt met latente begrippen als bijv. de schoonheid van een literaire stijl.

Het lijkt ons wat dit betreft een goed uitgangspunt te stellen dat de waarheid in het midden ligt, dat het soms inderdaad niet onredelijk is er vanuit te gaan dat achter het ordinale karakter van een variabele cardinale meetbaarheid verborgen ligt en dat dit in andere gevallen niet zo is. De grens is vaak niet moeilijk te trekken. Het bijzondere van het warmtevoorbeeld is namelijk dat de uitspraak van ieder die van twee voorwerpen beoordelen moet welke het warmst is, wel dezelfde zal zijn. In alle gevallen waar de situatie zo ligt lijkt het redelijk er vanuit te gaan dat in essentie het karakter van de variabele cardinaal zal zijn. In een dergelijke situatie is het vaak ook niet moeilijk zich een eenheid voor te stellen waarin de grootte van die variabele kan worden uitgedrukt.²

Daar waar het niet zo is dat redelijkerwijs verwacht mag worden dat ieder eenzelfde oordeel zal uitspreken lijkt de veronderstelling van een cardinale achtergrond achter ordinale gegevens een wat twijfelachtig uitgangspunt.

Voor het overige operationaliseren beide regime methoden het onzekerheids-element met behulp van de waarschijnlijkheidsrekening en vertalen beide gebrek aan kennis in termen van de rechthoekige verdeling (het Laplace principe van 'insufficient reasoning'). Over deze twee vrij algemeen gevolgde werkwijzen is reeds vrij veel geschreven (zie bijv. Taha, 1976) zodat wij menen, zeker na de lange uiteenzetting hierboven, hierop verder niet in te hoeven gaan.

Behalve punten van overeenstemming vertonen beide regimemethoden echter ook essentiële punten van verschil. Als gevolg van de wijze waarop Israëls-Keller het dominantie begrip definiëren heeft hun methode een zeker lexicografisch karakter, wat als gevolg heeft, dat een alternatief dat niet sterk is op een zeer belangrijk criterium niet gemakkelijk aan de kop zal komen hoe sterk het ook op andere punten zal scoren. Soms kan dit analytisch een aantrekkelijke eigenschap zijn, maar er bestaat verschil van mening over de vraag of beperkte compensatiemogelijkheden in een lexicografische ordening geen al te zware eis

²Met dank aan Prof. Dr. A. P. Abrahamse (EUR) die ons dit inzicht verschafte.

vormen. Wat hier echter van belang is, is dat het niet onredelijk is te verwachten dat de uitkomst van de methode Israëls-Keller een andere kan zijn dan de methode Hinloopen-Nijkamp. Deze verwachting is mede gebaseerd op vergelijking van beide methoden in een andere context (Albers, 1987) waar op basis van een uitgebreide dataset duidelijk bleek dat de methode Israëls-Keller zwakte op de belangrijke criteria genadeloos afstraft.

De derde, de numerieke interpretatie methode is filosofisch en mathematisch van een veel eenvoudiger karakter. Ook zij gaat weer uit van het paarsgewijs vergelijken van de alternatieven, maar daar stopt ook de gelijkenis. De methode is beschreven door verschillende auteurs (Voogd, 1982; Albers, 1987), zodat hier met een zeer korte beschrijving kan worden volstaan. Stel 2 alternatieven A1 en A2. Alle mogelijke paren van 2 criteria worden beschouwd, bijv. C1 en C2. Stel dat de prioriteiten van die criteria w1 en w2 zijn. De scores van A1 zijn e(1,1) en e(1,2) en die van A2 e(2,1) en e(2,2) respectievelijk. A1 wint nu een punt in de vergelijking met A2 in 11 situaties, nl. wanneer:

$e(1,1) > e(2,1)$ én $e(1,2) > e(2,2)$, of wanneer
 $e(1,1) > e(2,1)$ én $e(1,2) = e(2,2)$, of wanneer
 $e(1,1) = e(2,1)$ én $e(1,2) > e(2,2)$, of wanneer
 $e(1,1) > e(2,1)$ én $e(1,2) < e(2,2)$ én $w1 > w2$, of wanneer
 $e(1,1) < e(2,1)$ én $e(1,2) > e(2,2)$ én $w1 < w2$
 A1 en A2 spelen gelijk wanneer
 $e(1,1) = e(2,1)$ én $e(1,2) = e(2,2)$, of wanneer
 $e(1,1) > e(2,1)$ én $e(1,2) < e(2,2)$ én $w1 = w2$ of wanneer
 $e(1,1) < e(2,1)$ én $e(1,2) > e(2,2)$ én $w1 = w2$.

In de resterende 11 gevallen verliest A1.

Het eindresultaat van ieder alternatief is dan de algebraïsche som van zijn punten.

Het aantrekkelijke van de methode is zijn eenvoud. Hij heeft natuurlijk ook zijn bezwaren. Het belangrijkste is, dat de methode niet in staat is cardinale gegevens zonder verlies van informatie te verwerken, een bezwaar dat hij overigens gemeen heeft met de regime methode Israëls-Keller, terwijl de praktijk leert, dat het verwaarlozen van deze informatie inderdaad verschil kan veroorzaken. In Albers (1987) blijkt dat wanneer de prioriteiten (d.w.z. de wegingscoëfficiënten in de ordinale situatie) gelijk zijn, de numerieke interpretatie methode en de regime methode à la Hinloopen-Nijkamp (welke laatste ook de optie heeft dat de prioriteiten onbekend zijn - hetgeen enigszins verwant is met het begrip gelijke prioriteiten) vrij gelijk scoren. De verschillen tussen de methoden ontstaan bij de introductie van de veronderstelling van verschillen in

de prioriteiten. Dan lijkt het intuïtief aannemelijk dat de numerieke interpretatie de minste, de regime methode Hinloopen-Nijkamp meer en de methode Israëls-Keller de grootste invloed zal toekennen aan de prioriteitsverschillen. Een vermoeden dat in de situatie beschreven in de bovengenoemde studie van Albers bevestigd wordt.

3. De Vestigingsplaatsproblematiek van Kerncentrales.

Op 11 januari 1965 heeft de regering het beleidsvoornemen Vestigingsplaatsen voor Kerncentrales aan de Tweede Kamer aangeboden. De Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening (RARO) heeft in het licht hiervan een uitgebreide discussie gevoerd en tevens een advies uitgebracht, waarin zwaar geleund werd op het gebruik van MCA methoden (zie RARO, 1986). In dit advies werd niet ingegaan op de vraag 'wel of geen kernenergie', maar uitsluitend op de vraag waar een kerncentrale gebouwd zou kunnen (c.q. moeten) worden indien in Nederland besloten zou worden tot een uitbreiding van het nucleair vermogen.

De RARO heeft bij zijn advisering een uitgebreide lijst van potentiële locaties gemaakt en deze - na een pre-selectie - gereduceerd tot 9 alternatieve locaties, te weten: Bath/Hoedekenskerke(1), Borssele(2), Eems(3), Flevonoord(4), Ketelmeer(5), Maasvlakte(6), Moerdijk(7), Noordoostpolder(8) en Wieringermeer (9)

In totaal werden 15 relevante beoordelingscriteria onderscheiden nl. bevolkingsdichtheid (A), mogelijkheden hulpverlening/evacuatie (B), besmetting agrarische grond (C), bedreiging industrieel gebied (D), kans op besmetting zoet water (E), beschikbaarheid koelwater (kwantitatief) (F), kwaliteit koelwater (G), vermindering bestaande luchtverontreiniging (H), bruikbaarheid afvalwarmte (I), indirect ruimtebeslag (J), landschappelijke effecten (K), gevolgen voor natuurlijk milieu (L), aansluiting op netstructuur (M), aanwezigheid fysieke infrastructuur (N) en geschiktheid voor kolengebruik (O).

Voor elke locatie en voor elk criterium werd in het RARO-rapport een waardering opgenomen, waarbij - afgezien van criterium A - gewerkt werd met ordinale informatie. Deze ordinale gegevens betreffen echter geen complete rangschikking, maar slechts een classificatie in volgorde-klassen (met als gevolg dus veel 'ties'). De data voor criterium A (gewogen bevolkingsdichtheid) werden wel als (gestandaardiseerde) cardinale informatie opgenomen.

Voor het criterium O (geschiktheid van dezelfde locatie voor kolengebruik) gold iets bijzonders. De veronderstelling werd namelijk gemaakt, dat t.z.t. ook nieuwe locaties voor kolencentrales aangewezen zouden moeten worden. Een sterke geografische concentratie van vermogen heeft echter naar de mening van de RARO

zoveel nadelen, dat het benutten van specifieke kolen-locaties voor nucleair vermogen het vestigen van kolencentrales op dezelfde locatie op een later tijdstip zal bemoeilijken. Derhalve is aan een locatie die bij uitstek geschikt is voor kolencentrales een lage waardering voor de locatie van kerncentrales gegeven.³⁾

Daarbij rees echter de vraag welke locaties het meest (dan wel het minst) geschikt waren voor kolencentrales. Om dit probleem op te lossen werd een aparte MCA voor de locatie van kolencentrales uitgevoerd (de MCA-kolen) waarvan de resultaten dienden als input voor de MCA voor kerncentrales (de MCA-kern). Bij de MCA-kolen werden - naast de bovengenoemde potentiële locaties (1)-(9) - tevens de volgende locaties in ogenschouw genomen: IJmuiden (10), Velsen (11), Hemweg (12), Rotterdam (13), Nijmegen (14), Diemen (15) en Merwede/Dordrecht (16)⁴⁾. De volgende criteria werden bij de MCA-kolen onderscheiden: koelwater (kwantitatief) (a), landschappelijke effecten (b), aansluiting op netstructuur (c), bereikbaarheid voor kolentransport (d), afstand tot stedelijk gebied (e), afstand tot land-/tuinbouwgebied (f), afstand tot natuur-/recreatiegebied (g) en agglomeratie-effect (h). Al deze gegevens werden gemeten door middel van ordinale cijfers.

De effecten-matrix van de MCA-kolen en de MCA-kern zijn weergegeven in Tabel 1 en 2 respectievelijk. In alle gevallen geldt: hoe hoger, des te beter; dit in tegenstelling tot de conventie gevolgd in het RARO-rapport.

³⁾Elijkbaar wordt in deze optiek voorbij gegaan aan de mogelijke voordelen van grootschalige energie-opwekkingscomplexen.

⁴⁾Overigens kan de vraag gesteld worden of het zinvol is extra kolencentrales in de beschouwing te betrekken omdat alleen de rangorde van (1) - (9) van belang is voor de MCA-kern. De enige analytisch interessante reden hiervoor is te vinden in de problematiek van de zgn. 'Independence of Irrelevant Alternatives' (IIA), een vraagstuk dat bekend is uit de discrete keuze-analyse. Dit probleem houdt in dat de uiteindelijke rangschikking van een verzameling keuze-alternatieven kan veranderen, indien nieuwe irrelevante alternatieven worden toegevoegd.

Tabel 1. Invoergegevens voor de MCA-kolen.

Locatie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Criterium																
(a)	3	4	4	4	4	4	1	4	4	4	2	2	2	2	2	1
(b)	1	3	3	1	1	3	3	1	1	3	3	3	3	3	2	3
(c)	3	3	2	3	3	3	3	2	1	2	3	3	2	3	3	3
(d)	3	5	5	2	1	5	3	1	1	3	4	4	4	4	3	4
(e)	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	2	1
(f)	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
(g)	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3
(h)	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1

Tabel 2. Invoergegevens voor de MCA-kern.

Locatie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Criterium									
A	49	51	64	73	70	57	0	81	79
A1 ^{a)}	2	2	4	3	3	2	1	4	4
B	2	1	2	2	2	1	2	2	2
C	2	2	2	2	2	3	1	2	2
D	5	2	3	4	5	1	3	5	5
E	2	2	2	1	1	2	1	1	1
F	2	3	3	3	3	3	1	3	3
G	2	3	2	1	1	3	2	1	1
H	1	1	1	1	1	2	1	1	1
I	1	2	2	2	1	3	2	1	1
J	3	2	2	3	4	3	1	4	4
K	1	3	3	3	1	3	2	1	1
L	1	3	1	3	2	3	3	3	3
M	2	2	1	3	3	2	2	2	1
N	1	2	2	1	1	2	2	1	1
O ^{a)}	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Daarnaast zijn door de RARO zowel wat betreft de kolen- als de kerncentrales een viertal beleidsvarianten onderscheiden, die gekenmerkt worden door specifieke pakketten van gewichten t.a.v. de gehanteerde beoordelingscriteria. Deze beleidsvarianten zijn: (i) basisvariant, (ii) financieel-economische variant, (iii) milieuvariant en (iv) ruimtelijke variant. Uit het RARO-rapport wordt niet geheel duidelijk welke de bijzondere kenmerken van de basisvariant zijn. Dit klemmt des te meer omdat in deze varianten de gewichtenscores van de beoorde-

^{a)} A1 stelt voor de ordinale rangschikking die door het N.E.I. op grond van criterium A is gemaakt na transformatie van cardinale in ordinale informatie (zulks ten behoeve van de ordinale concordantie-analyse).

^{a)} De hierbij behorende rangschikking vloeit voort uit de resultaten van de MCA-kolen per variant (zie Tabel 5)

lingscriteria die zowel bij de MCA-kolen als de MCA-kern voorkomen (te weten de paren (a) en (F), (b) en (K) en (c) en (M)) niet geheel gelijk zijn, zoals blijkt uit de presentatie van de informatie voor deze varianten in de tabellen 3 en 4. Overigens geldt voor deze gewichten opnieuw: 'hoe hoger, des te beter'.

Tabel 3. Criteria-rangorde per variant voor de MCA-kolen.

Criterion	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Variant								
(i)	3	2	1	4	5	2	3	3
(ii)	5	2	5	5	4	4	3	4
(iii)	6	2	1	4	5	2	6	3
(iv)	2	5	5	3	4	1	2	2

Tabel 4. Criteria-rangorde per variant voor de MCA-kern.

Criterion	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Variant															
(i)	5	1	3	4	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(ii)	5	1	4	4	3	4	2	4	4	1	1	1	4	4	4
(iii)	5	1	3	4	3	4	4	2	2	1	1	4	1	1	2
(iv)	5	1	3	4	3	2	2	1	2	4	4	1	4	4	4

4. Resultaten van de MCA.

In het hierboven reeds genoemde RARO-rapport werd een stapsgewijze MCA uitgevoerd (eerst de MCA-kolen, dan de MCA-kern) door middel van een door het Nederlands Economisch Instituut (N.E.I.) ontwikkelde zgn. Qualiflex-methode, gevolgd door een controle op basis van een ordinale concordantie-analyse. Helaas moesten bij de Qualiflex-methode een of meer van de 15 beoordelingscriteria buiten beschouwing blijven, omdat het Qualiflex computer-programma maximaal 14 criteria kan verwerken.⁷⁹ Deze serieuze beperking van deze methode geldt echter niet voor de ordinale concordantie-analyse, alhoewel daar tegenover staat enige methodische onzuiverheid in het gebruik van ordinale gewichten. Daarnaast moest bij de ordinale concordantie-analyse het kwantitatief gemeten criterium A worden getransformeerd in een rangorde (met als gevolg informatieverlies).

⁷⁹Het Qualiflex-computerprogramma is helaas voor buitenstaanders niet toegankelijk, zodat testruns met dit programma voor andere te elimineren criteria niet gemaakt konden worden.

De resultaten van beide methoden (dus Qualiflex en ordinale concordantie), met enige moeite gedestilleerd uit het RARO-rapport, zijn weergegeven in tabel 5 (MCA-kolen) en tabel 6 (MCA-kern) voor alle 4 gehanteerde varianten.

Tabel 5. Resultaten per variant voor de MCA-kolen ^{*)}

Locatie	Qualiflex	Ordinale concordantie
	variant i ii iii iv	variant i ii iii iv
Bath/H	5 5 8 5	6 6 9 6
Borssele	2 2 3 2	3 2 3 2
Eems	3 3 9 4	2 3 4 4
Flevo-Noord	6 4 4 6	5 5 5 5
Ketelmeer	7 7 5 7	7 7 6 7
Maasvlakte	1 1 1 1	1 1 1 1
Moerdijk	4 6 2 3	4 4 2 3
N.O.P.	8 8 6 8	8 8 7 8
Wieringermeer	9 9 7 9	9 9 8 9

Tabel 6. Resultaten per variant voor de MCA-kern.

Locatie	Qualiflex	Ordinale concordantie
	variant i ii iii iv	variant i ii iii iv
Bath/H	2 2 1 2	2 2 2 2
Borssele	4 3 4 3	4 3 6 3
Eems	9 5 7 7	9 6 7 5
Flevo-Noord	5 8 6 9	5 7 4 7
Ketelmeer	3 7 3 8	3 5 3 6
Maasvlakte	8 9 9 6	7 9 9 9
Moerdijk	1 1 2 1	1 1 1 1
N.O.P.	7 6 8 5	8 8 8 8
Wieringermeer	6 4 5 4	6 4 5 4

Opvallende zaken bij deze resultaten zijn: de relatief geringe robuustheid van de totale eindrangschikking van alle locaties voor veranderingen in de varianten, en de spreiding in individuele resultaten tussen de Qualiflex-methode en de ordinale concordantie-analyse (ook al is het overall patroon redelijk hetzelfde). Deze gevoeligheid hangt mede samen met het feit, dat de invoergegevens

^{*)}Hier zijn alleen de 9 relevante locaties voor de MCA-kern opgenomen. Deze resultaten vormen nu de input voor criterium 0 in Tabel 2; een lage waarde in deze tabel betekent dat de locatie niet geschikt is voor een kolencentrale en derhalve zeer geschikt voor een kerncentrale. Dit is de conventie gevolgd in het RARO-rapport.

niet zuiver ordinaal van aard zijn, maar in wezen een classificatie in grootte- of relevantie-categorieën voorstellen. In elk geval is het thans een interessante exercitie om middels een drietal andere methoden, te weten de regime-methode à la Israëls-Keller, de regime-methode volgens Hinloopen-Nijkamp en de zgn. numerieke interpretatie methode, na te gaan of bovenstaande resultaten bevestigd worden door het gebruik van deze 3 methoden. Daarbij zij opgemerkt dat van deze drie methoden alleen de regime-methode volgens Hinloopen-Nijkamp ook in staat is cardinale informatie mee te nemen (de 'mixed' optie). Dit is vooral van belang voor criterium A in de MCA-kern. De resultaten van deze exercities worden besproken in sectie 5.

5. Resultaten van Drie Nieuwe MCA's.

Thans zullen de resultaten van de regime methode Israëls-Keller (Regime I-K), de regime methode Hinloopen-Nijkamp (Regime H-N) en de numerieke interpretatie methode (Num Inter) gepresenteerd worden, zowel voor de MCA-kolen als voor de MCA-kern, en zulks voor alle vier bovengenoemde varianten.

De resultaten van de MCA-kolen zijn te vinden in tabel 7. Bij deze resultaten is dus uitgegaan van de volledige set van alternatieven (dus 16 locaties). Ten behoeve van de invoer voor criterium O in de MCA-kern wordt hieruit later alleen de volgorde van de locaties 1 tm 9 overgenomen.

Bij onze rekenexercities bleek inderdaad dat het hierboven aangeduide IIA-probleem (zie noot 5) zich voordeed. Indien reeds van te voren de 9 relevante locaties geselecteerd werden, bleek de volgorde soms lichtelijk verschillend te zijn van het geval waarin de totale set van 16 locaties werd geanalyseerd. Om redenen hierboven aangegeven is door ons toch geopteerd voor de complete set van de 16 alternatieven.

Tabel 7. Resultaten per variant voor de Mca-kolen voor 3 methoden.**

Locatie	Regime I-K				Regime H-N				Num Interpr.			
	variant				variant				variant			
	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv
Eath/H	9	9	8	8	11	7	8	8	7	7	6	8
Borssele	14	15	15	15	14	14	15	15	14	15	15	15
Eems	15	14	14	12	15	15	14	13	14	14	14	13
Flevo-Noord	12	13	13	9	7	8	13	5	8	9	10	9
Ketelmeer	6	12	7	4	6	6	7	3	6	6	9	5
Maasvlakte	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Moerdijk	13	7	6	13	13	10	6	14	13	13	13	14
N.O.Polder	5	5	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2
Wieringermeer	4	4	4	1	4	1	4	1	3	1	4	1
IJmuiden	8	8	12	7	10	11	12	7	9	10	7	6
Velsen	11	11	10	14	12	13	10	12	12	11	12	12
Hemweg	10	10	9	11	8	12	9	11	11	12	11	11
Rotterdam	7	6	11	6	9	9	11	6	10	8	8	10
Nijmegen	3	3	3	10	3	5	3	10	4	5	3	7
Diemen	2	2	2	3	2	4	2	4	1	4	1	3
Merwede/D	1	1	1	5	1	3	1	9	2	3	2	4

Voor wat betreft de resultaten zelf in Tabel 7 zij opgemerkt dat voor elk der vier varianten afzonderlijk de drie behandelde methoden vrij eensluidende resultaten (dwz. rangschikkingen der alternatieven) opleveren. Zo worden bijv. bij variant 1 de locaties Maasvlakte en Eems door elk der drie methoden als de beste aangewezen, en de locaties Diemen en Merwede/Dordrecht als de slechtste. Soortgelijke patronen zijn te onderkennen bij de andere varianten. Dit leidt tot de conclusie dat de resultaten tamelijk robuust zijn ten aanzien van het gebruik van deze drie methoden; alleen in het middengebied blijken nogal eens verschuivingen in de rangorde op te kunnen treden.

Wel lijken de resultaten redelijk beïnvloed te worden door de keuze der varianten, alhoewel ook in dit geval de Maasvlakte er altijd als de beste kolencentrale-locatie uitkomt. In vergelijking met tabel 5 zijn er toch wel enige verschillen te constateren, met name wat betreft de resultaten van de Qualiflex methode, alhoewel ook deze verschillen zeker niet dramatisch genoemd mogen worden.

De resultaten van elk der 4 varianten en elk der 3 methoden zijn vervolgens gebruikt als invoer voor de MCA-kern (zie tabel 8)

**Rangcijfers. Hoe hoger hoe beter. Als invoer voor de MCA-kern gespiegeld.

Tabel 8. Resultaten per variant voor de MCA-kern voor 3 methoden

Locatie	Regime I-K				Regime H-N				Num Interpr.			
	variant				variant				variant			
	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv
Bath/H	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Borssele	5	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3
Eems	7	9	8	6	9	8	8	7	6	6	7	6
Flevo-Noord	4	5	6	5	5	6	5	6	7	8	6	9
Ketelmeer	3	4	3	4	4	4	3	4	3	5	3	5
Maasvlakte	8	7	7	8	6	9	9	8	9	9	9	8
Moerdijk	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
N.O.Polder	9	8	9	9	8	7	7	9	8	7	8	7
Wieringermeer	6	6	5	7	7	5	6	5	5	4	5	4

Uit deze resultaten blijkt opnieuw een redelijk grote mate van overeenkomst in de uitkomsten der berekeningen voor elk der varianten. Correlatieberekeningen van de resultaten van twee willekeurige methoden leveren steeds extreem hoge correlatiecoëfficiënten.

Dit neemt niet weg dat de methoden duidelijk verschillen vertonen samenhangend met hun structuur. Zo wijst bijv. de regime methode Israëls-Keller voor geen enkele variant de Maasvlakte als beste locatie aan. De numerieke interpretatie methode kiest de Maasvlakte in 3 van de 4 gevallen als beste alternatief en de regime methode Hinlopen-Nijkamp kiest de Maasvlakte als beste alternatief voor twee varianten. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat de Maasvlakte slecht scoort op het criterium bevolkingsdichtheid, juist het criterium dat in alle vier varianten de hoogste prioriteit krijgt. Het ietwat lexicografische karakter van de regime methode Israëls-Keller maakt het zeer moeilijk zwakte op zo'n belangrijk criterium door sterkte op andere criteria te compenseren. De methode geeft in drie van de vier varianten de ereplaats aan de N.O.P.-dijk en aan de Eems in de financieel-economische variant. Figuur 1 geeft een beeld van de invloed van de keuze van de prioriteiten op de eindresultaten van de regime-methode Hinlopen-Nijkamp. Figuur 2 illustreert de methodegevoeligheid in het geval van variant (i).

Als wij ook de resultaten van Qualiflex en de Ordinale Concordantie analyse uit tabel 6 in de beschouwing betrekken, blijken de resultaten niet extreem veel van die van de drie methoden van tabel 8 af te wijken, alhoewel de verschillen hier groter zijn dan tussen de drie door ons gehanteerde methoden. Een dergelijke robuustheid versterkt in elk geval het vertrouwen in zulke methoden.

Tenslotte, in de Regeringsbeslissing (deel D) 'Vestigingsplaatsen voor Kerncentrales' (1986) heeft de regering besloten op grond van een brede afweging

en onderlinge vergelijking voorlopig drie plaatsen voor de mogelijke vestiging van nucleair vermogen te selecteren. Deze plaatsen zijn: Borssele, Eems en Maasvlakte. De keuze van de Maasvlakte ligt voor de hand. In veel gevallen - 10 van de 20 - wordt deze locatie als beste aangewezen. Ook voor de keuze van Eems valt wel wat te zeggen. Deze locatie wordt vier maal als eerste aangewezen, nl binnen variant 1 door de methoden Qualiflex, Ordinale Concordantie en Hinloopen-Nijkamp en binnen variant 2 door de methode Israels-Keller. De keuze die voor Borssele is gemaakt is echter op basis van de criteria en prioriteiten gehanteerd door de RARO onverdedigbaar. Interessant is tenslotte dat een Moerdijk-vestiging - sterk vanuit Brabant gepropageerd - op geen enkele wijze als een acceptabele of verdedigbare optie uit de bus komt.

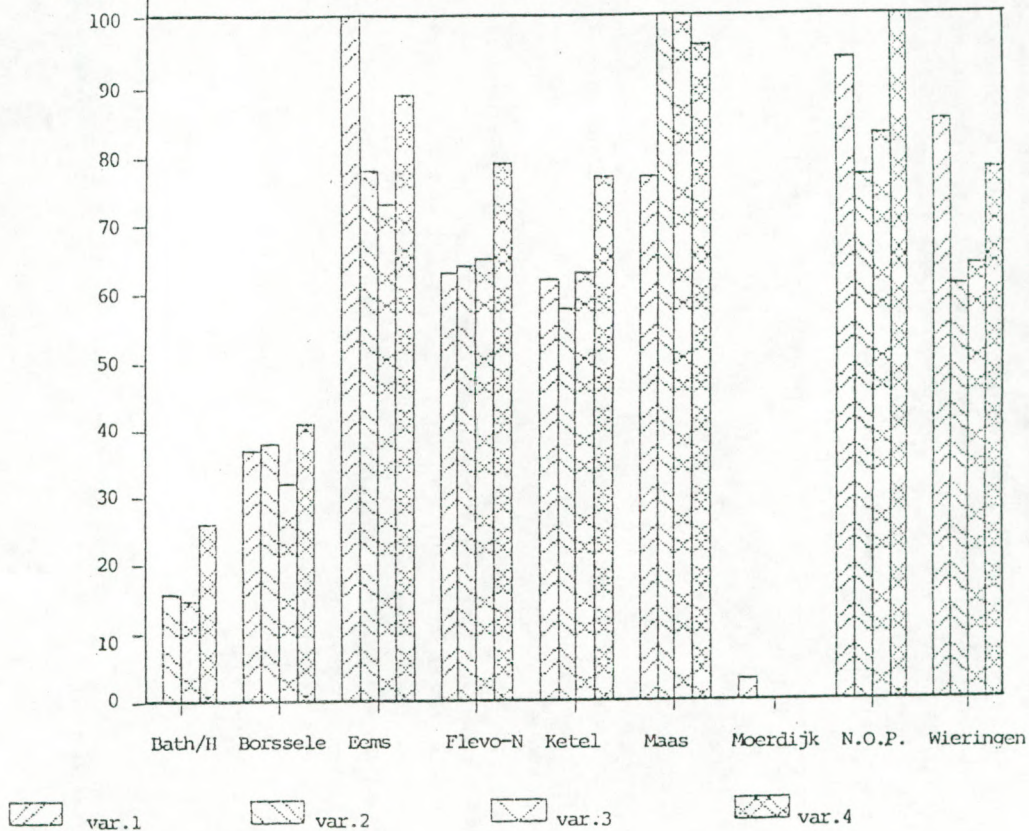
Literatuur

- Albers, L.H. *Het gewichtloze gewogen; cultuurhistorische betekenis van landgoederen geëvalueerd met behulp van multicriteria analyse*. Delftse Universitaire Pers, Delft 1987.
- Hinloopen, E. en P. Nijkamp. "Regime-methode voor discrete multicriteria analyse", *Kwantitatieve methoden* nr 22, jrg 7 (1986), pp 61-78.
- Israels, A.Z en W.J. Keller. "Multicriteria analyse voor ordinale data", *Kwantitatieve methoden* nr 21 jrg 7 (1986) pp 49-74.
- Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening. *Vestigingsplaatsenvoor kerncentrales*. Staatsuitgeverij, Den Haag 1986.
- Taha, H.A. *Operations Research*, MacMillan, New York, 1976.
- Voogd, H. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pergamon, Londen, 1982.

Ontvangen: 30-09-1987
Geaccepteerd: 05-07-1988

cindscore
alter-
natieven

Figuur 1. 9 Atoom Centrales
Regime methode II.-N.: 4 Varianten



eindscore
alter-
natieven

Figuur 2. 9 Atoomcentrales
4 Methoden vergeleken voor variant (i)

