

voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

NN31545.0803

ENKELE MULTICRITERIA METHODEN VOOR PLAATSKEUZE-  
PROBLEMEN MET EEN TOEPASSING VOOR EEN BOS  
IN DE LOPIKERWAARD

J.C.G. Damen

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemidde-  
len, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de  
conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog  
niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking



JEN 243213 \*

## I N H O U D

	blz.
INLEIDING	1
1. SOM VAN GEWOGEN WAARDERINGEN	2
1.1. Algemeen	2
1.2. Toepassing op Lopikerbos door Staatsbosbeheer	2
1.3. Verbetering klasse-indeling door veronderstelling normale verdeling	4
1.4. Kenmerken 'Som gewogen waarderingen' methode	6
2. ELECTRA ALGEMEEN	7
2.1. Grondgedachte van de Electra-methode	7
2.2. Toepassing Van Der Meer en Opschoor	7
2.3. Moeilijkheden bij toepassing op het Lopikerbos	16
2.4. Kenmerken en bezwaren	16
3. ELECTRA AANGEPAST	17
3.1. Beschrijving methode	17
3.2. Toepassing op het Lopikerbos	22
SLOTOPMERKINGEN	22
LITERATUUR	23
SUMMARY	25

## INLEIDING

De ideeën betreffende bosaanleg in de Lopikerwaard zijn binnen de Studiegroep Lopikerwaard geëvolueerd tot een onderzoek van bosaanleg als alternatieve bodem/ruimte gebruiksvorm. In dit kader is gevraagd om een indeling van  $\pm$  550 deelgebieden binnen de Lopikerwaard in drie klassen (weinig gunstig, gunstig en zeer gunstig). Hierbij is niet alleen gelet op de voordelen die bepaalde deelgebieden zouden hebben uit het oogpunt van bebossing - bosgeschiktheid - maar ook op de nadelen door het verdrijven van andere bestemmingen. Dit komt tot uitdrukking in de te gebruiken criteria.

Getracht is om daarbij een procedure te gebruiken waarin:

- a. de diverse criteria in hun eigen dimensie worden gemeten, dus bijvoorbeeld houtproductie in geld, recreatie in dagen, landschap naar schoonheid, enz.;
- b. alternatieve sets gewichten kunnen worden ingevoerd in de zin van schattingen van de toekomstige ontwikkeling; wanneer namelijk zou blijken dat verschillende sets met uiteenlopende gewichten tot eenzelfde plaatskeuze zouden leiden, is het probleem van de nauwkeurige bepaling van de gewichten omzeild.

Nagegaan is of enerzijds de methode gewogen waarderungen, dat wil zeggen de som van de produkten van waarderungen en gewichten en anderzijds de methoden 'Electra', dat wil zeggen afweging naar concordantie en discordantie, zoals o.a. uiteengezet door VAN DER MEER en OPSCHOOR (1973), mogelijkheden bieden.

Gebleken is dat de Electra-methode als zodanig niet bruikbaar is voor dit doel en wel omdat:

1. het programma zo is opgezet dat uit een reeks alternatieven het beste wordt gekozen;
2. toepassing op een groot aantal blokken niet mogelijk was; een technische aanpassing was dus zonder meer reeds nodig.

Om deze reden is door VAN DOORNE (1974) van de Afdeling Wiskunde uitgaande van de grondgedachte van Electra een programma geschreven voor een multi-criteria selectie procedure, die wordt aangeduid als de aangepaste Electra-methode, waarbij van de waarderingen alleen de rangorde wordt gebruikt, maar waarbij ook de mogelijkheid is ingebouwd om niet de absolute gewichten maar alleen hun onderlinge verhouding te gebruiken.

## 1. SOM VAN GEWOGEN WAARDERINGEN

### 1.1. A l g e m e e n

Voor de beoordeling van een aantal alternatieven kunnen uitgaande van een doelstelling een aantal criteria worden geformuleerd. Per criterium wordt dan voor ieder alternatief een waarderingscijfer vastgesteld. Bovendien wordt uitgaande van de doelstelling het belang van ieder criterium uitgedrukt in een getal (gewicht). Met deze gegevens is het mogelijk een rangorde op te stellen voor de alternatieven. Een methode die dit mogelijk maakt is een aanpak, die hier wordt aangeduid met de 'Som van gewogen waarderingen', een werkwijze die o.a. veel wordt gebruikt bij het onderwijs. De waardering per vak (criterium) wordt gewaardeerd met cijfers (1 tot en met 10). Afhankelijk van de doelstelling van de opleiding worden gewichtsverhoudingen gehanteerd.

Op dit hoofdthema zijn variaties mogelijk (SPIJK, 1969).

### 1.2. T o e p a s s i n g o p L o p i k e r b o s d o o r S t a a t s b o s b e h e e r

Voor de plaatskeuze van het bos in de Lopikerwaard zijn door de afdeling Landschapsarchitectuur van Staatsbosbeheer de volgende doel-

stellingen geformuleerd:

- a. een groot aaneengesloten bos in de Lopikerwaard;
- b. het zoveel mogelijk intact laten van de visueel ruimtelijke structuur van de Lopikerwaard;
- c. een inrichting die zal zijn afgestemd op de houtteelt;
- d. het inbouwen van randvoorwaarden uit het oogpunt van natuurbeheer;
- e. het mogelijk maken van recreatief gebruik;
- f. andere variabelen.

Op basis van deze doelstellingen zijn negen criteria geformuleerd. Deze zijn:

1. mate van openheid van het landschap;
2. visuele aantrekkelijkheid;
3. bodemgeschiktheid voor bosbouw op basis van de potentiële toestand;
4. dichtheid sloten en watergangen;
5. bodem en grondwatervariatie;
6. doorgaande wegen als barrières;
7. halve-dag uitloopgebieden;
8. bebouwing;
9. natuurgebieden.

Uitgaande van het vierkantsnet van de topografische kaart is over de Lopikerwaard een vierkantsnet gelegd, waarbij deelgebieden ontstonden van 25 ha groot. De deelgebieden zijn getoetst aan de negen criteria. Het resultaat van de toetsing is geplaatst in één van de drie niveaus: 0, ongunstig; 1, gunstig en 2, zeer gunstig. Voor de criteria zijn de volgende gewichtsgetallen vastgesteld:

Kriteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gewicht	2	1	4	3	3	2	4	4	4

Vervolgens worden de produkten van waardering en gewicht per deelgebied vastgesteld en opgeteld. Dit eindresultaat geeft de geschiktheid voor bos per deelgebied aan. De verdeling van de deelgebieden in de drie klassen: minder geschikt, geschikt en zeer geschikt

is tot stand gekomen door de spreidingsbreedte in drie gelijke delen te verdelen. Deze klassen worden dan:

- minder geschikt voor bosaanleg: de deelgebieden met een eindresultaat tussen

$$LR \text{ en } LR + \frac{HR - LR}{3}$$

- geschikt: de deelgebieden met een eindresultaat tussen

$$LR + \frac{HR - LR}{3} \text{ en } LR + 2\left(\frac{HR - LR}{3}\right)$$

- zeer geschikt: de deelgebieden met een eindresultaat tussen

$$LR + 2\left(\frac{HR - LR}{3}\right) \text{ en } HR$$

waarbij LR = laagste resultaat en HR = hoogste resultaat

Deze manier van verdelen heeft tot gevolg dat de middengroep (geschikt) groot wordt en de beide andere groepen klein, zoals in de bijlage te zien is op kaart 1.

### 1.3. Verbetering klasse-indeling door veronderstelling normale verdeling

De geschiktheid voor bos per deelgebied zoals die is vastgesteld door Staatsbosbeheer wordt ook hier aangehouden, alleen de klasse-indeling wordt gewijzigd. Een indeling in drie groepen van gelijke grootte kan vrij eenvoudig gebeuren als mag worden verondersteld dat de frequentieverdeling een normale verdeling is (de totale oppervlakte onder de curve van de normale verdeling kan namelijk met behulp van overschrijdingskansen worden verdeeld in stukken met eenzelfde oppervlakte).

Om tot een dergelijke benadering te kunnen overgaan moet eerst worden nagegaan of de betreffende verdeling normaal is. Dit kan gebeuren door de empirische verdeling te toetsen aan een theoretische normale verdeling met behulp van de  $\chi^2$  toets.

Tabel 1. Toetsing van de frequentieverdeling van de produkten van waardering en gewicht aan een theoretisch normale verdeling met behulp van de  $\chi^2$  toets

Klasse	Frequentie (f)	Theoretische frequentie (e)	(f-e)	$\frac{(f-e)^2}{e}$
10-14	1	1	-	-
15-19	3	7	- 4	2,29
20-24	33	39	- 6	0,92
25-29	124	117	+ 7	0,42
30-34	203	176	+27	4,14
35-39	118	143	-25	4,37
40-44	55	59	- 4	0,27
45-49	18	13	+ 5	1,92
50-54	2	2	-	-
				$\chi^2 = 14,33$
Class	Frequention	frequency Theoretical	(f-e)	$\frac{(f-e)^2}{e}$

Table 1. Testing the goodness of fit of the distribution of the frequentions of products of appraisal and weight using the  $\chi^2$  criterion

De hypothese, dat de verdeling normaal is, kan bij een significantieniveau van 2,5% niet worden verworpen.

Voor een verdeling van de totale oppervlakte in drie gelijke delen is het nodig de rechter en linker overschrijdingskans van 0,333 te kennen. Deze overschrijdingskansen zijn voor een standaard normale verdeling, een verdeling met gemiddelde 0 en standaardafwijking 1, in tabelvorm gegeven. Bij de presentatie van deze overschrijdingskansen is echter een grootheid T ingevoerd. De betekenis van T in de standaard normale verdeling is weergegeven in fig. 1. Deze grootheid kan worden geschreven als:

$$T = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \quad (1)$$

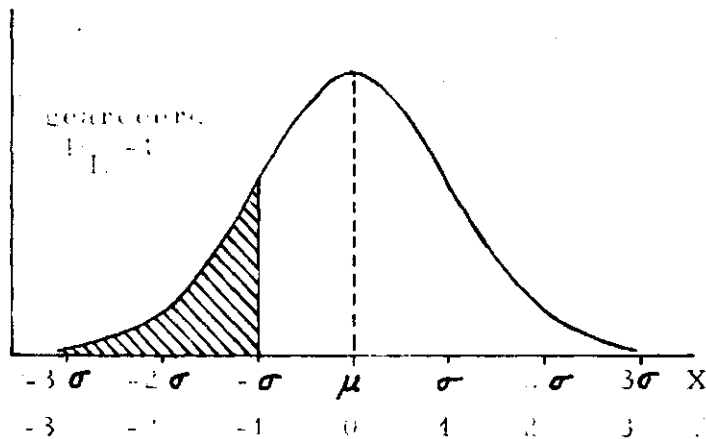


Fig. 1. Linkse kans van  $T = -1$

Fig. 1. Probability under the standard normal curve

Voor iedere waarde van  $T$  is de overschrijdingskans bekend. We hebben hier een overschrijdingskans van 0,333 nodig; de bijbehorende  $T$ -waarde is 0,43. Door substitutie van deze  $T$ -waarde in (1) ontstaat:

$$X = \pm 0,43\sigma + \bar{X} \quad (2)$$

De twee waarden voor  $X$  die ontstaan na het invullen van de parameters van de empirische frequentieverdeling (gemiddelde  $\bar{X} = 32,78$  en standaardafwijking  $\sigma = 6,06$ ) zijn de gezochte klassegrenzen. Op kaart 2 in de bijlage is te zien wat het resultaat is als de normale benadering wordt toegepast op de gegevens van SBB (kaart 2).

#### 1.4. Kenmerken 'Som gewogen waarden' methode

De methode maakt het mogelijk moeilijk vergelijkbare grootheden in een beslissing te betrekken. Deze beslissing kan zowel gaan over het op volgorde zetten van de betrokken zaken als de keuze van 'een beste'. De methode voldoet aan de wens de beoordeling uit te drukken in een getal of cijfer. De methode op zich is erg eenvoudig. De moeilijkheden zijn verschoven naar het vaststellen van waarden en gewichten. Daardoor is de betrouwbaarheid van de methode nauw gekoppeld aan de betrouwbaarheid van waarden en gewichten.



## 2. ELECTRA ALGEMEEN

### 2.1. Grondgedachte van de Electra-methode

De Electra-methode is een in 1966 in Frankrijk ontwikkelde methode van multicriteria-analyse. De hoofdgedachte waarop de Electra-methode is gebaseerd, is het vergelijken van alle alternatieven ten opzichte van elkaar met behulp van de waarderingen voor de verschillende criteria. Het selecteren van de alternatieven gebeurt dan daarna te gaan over hoeveel alternatieven een bepaald alternatief domineert. Is een alternatief beter dan alle andere alternatieven dan is dit duidelijk het beste alternatief. Een groot voordeel van deze methode is dat per criterium de waardering voor de verschillende alternatieven in een rangorde kan worden gegeven. Een absolute waardering is niet noodzakelijk. In plaats van een kardinale waarderingsschaal kan dus een ordinale schaal worden gebruikt. Op basis van deze gedachtegang zijn verschillende varianten van de Electra-methode ontstaan. BERNARD en BESSON (1971) geven twee varianten aan bij hun behandeling van twaalf methoden van multicriteria-analyse. Ook in de Amerikaanse literatuur betreffende multicriteria-analyse is deze grondgedachte teruggevonden in een beslissingstechniek. In de methode van HILL en TZAMIR (1972) waarin een grafische vorm van multivariate analyse namelijk de Multidimensional Scalogram Analysis (LINGOES, 1968) wordt gebruikt bij de voorselectie van alternatieven, maar waar bij de uiteindelijke beslissing de grondgedachte van de Electra-methode wordt toegepast. Om een beeld te geven van de werking van de Electra-methode wordt hierna een toepassing, zoals deze is gepresenteerd door VAN DER MEER en OPSCHOOR (1973), besproken. Andere toepassingen zijn gegeven door o.a. BERTIER en DE MONTGOLFIER (1971) en GUIGOU (1971).

### 2.2. Toepassing Van Der Meer en Opschoor

Wanneer diverse criteria niet gelijk zijn van dimensie, omdat het zowel kwantitatieve als kwalitatieve kenmerken betreft, is aggre-

geren niet mogelijk. Met behulp van de Electra-methode is getracht in de uiteindelijke keuzebeslissing zoveel mogelijk aspecten te betrekken. De uitgangspunten zijn:

- Een aantal alternatieven, waaruit een keuze moet worden gemaakt.
- Een aantal criteria, die van de doelstellingen zijn afgeleid, waaraan bij de keuze aandacht moet worden geschonken.
- Een waardering voor elk alternatief naar de criteria, waardoor een rangschikking mogelijk wordt.
- Een of meer sets gewichten die het belang van de criteria onderling aangeven.

Met behulp van een eenvoudig voorbeeld van 5 alternatieven, 6 criteria en een set gewichten zal worden getracht de werking van de Electra-methode te demonstreren.

Tabel 2. Waarderingen van alternatieven ten aanzien van 6 criteria

Kriteria Alternatief	1	2	3	4	5	6
a	20 000	0	100	30	1000	2
b	0	1	200	10	0	2
c	10 000	0	100	0	1000	2
d	20 000	0	200	30	1000	2
e	0	1	200	10	2000	1
Alternative Criteria	1	2	3	4	5	6

Table 2. Alternatives and their appraisal according to six criterions

De waardering voor alle criteria van elk alternatief moet ten opzichte van elk ander alternatief worden vergeleken. Vervolgens moet voor ieder criterium worden vastgesteld wanneer de waardering behorende bij alternatief a groter dan of gelijk aan die behorende bij alternatief b is en wanneer de waardering behorende bij alternatief a klei-

Tabel 3. Gewichten voor de verschillende criteria

Kriteria Criteria	1	2	3	4	5	6	Som van gewichten
Gewichten Weights	2	1	4	3	3	2	15
Relatieve gewichten Relative weights	0,13	0,07	0,27	0,20	0,20	0,13	

Table 3. Weights attached to the criterions

ner is dan die behorende bij alternatief b. Het groter of gelijk zijn wordt concordantie genoemd, het kleiner zijn discordantie. Zowel voor de mate van concordantie als voor de mate van discordantie wordt een maatstaf berekend.

#### Concordantie-index

De concordantie-index geeft enigszins de mate aan, waarin een alternatief beter dan of gelijk aan een ander is. Als deze index nul is, is het betreffende alternatief ten aanzien van alle criteria slechter dan het alternatief waarmee wordt vergeleken. Is deze index 1 dan is het alternatief ten aanzien van alle criteria gelijk of beter. De berekening van deze index gaat als volgt.

We beginnen met het vergelijken van alternatief a met alternatief b uit tabel 2. Als de waardering voor alternatief a groter dan of gelijk aan die voor b is voor een bepaald criterium noteren we een 1, is dit niet het geval dan noteren we een 0. Vervolgens vergelijken we a met het volgende alternatief en zo ontstaan de volgende reeksen.

Tabel 4. Vergelijking van de alternatieven ten opzichte van elkaar, waarbij is aangegeven of het alternatief groter (1), gelijk (1.) of kleiner (0) is dan het alternatief waarmee wordt vergeleken

Alternatief \ Kriterium	Kriterium					
	1	2	3	4	5	6
a t.o.v. b	1	0	0	1	1	1.
a t.o.v. c	1	1.	1.	1	1.	1.
a t.o.v. d	1.	1.	0	1.	1.	1.
a t.o.v. e	1	0	0	1	0	1
b t.o.v. a	0	1	1	0	0	1.
b t.o.v. c	0	1	1	1	0	1.
b t.o.v. d	0	1	1.	0	0	1.
b t.o.v. e	1.	1.	1.	1.	0	1
c t.o.v. a	0	1.	1.	0	1.	1.
c t.o.v. b	1	0	0	0	1	1.
enz.						
Alternative \ Criterion	1	2	3	4	5	6

Table 4. Comparison of the alternatives. The results are indicated as follows: 1 the alternative is better than the one with which it is compared, 1. the alternatives are equal, 0 the alternative is worse than the one with which it is compared

Door per regel iedere score te vermenigvuldigen met het gewicht van het betreffende criterium, deze resultaten te sommeren en te delen door de som van de gewichten, ontstaat per vergelijking van twee alternatieven de concordantie-index. Zo ontstaat deze index voor a ten opzichte van b bijvoorbeeld als  $(1 \times 2 + 1 \times 0 + 4 \times 0 + 1 \times 3 + 1 \times 3 + 1 \times 2) : 15$  is 0,67. Alle concordantie-indices worden hierna in matrixvorm gepresenteerd.

Tabel 5. Concordantie matrix

Alternatieven	a	b	c	d	e
a	.	0,67	1,00	0,73	0,47
b	0,47	.	0,67	0,47	0,80
c	0,67	0,47	.	0,40	0,27
d	1,00	0,93	1,00	.	0,73
e	0,53	0,87	0,73	0,53	.
Alternatives	a	b	c	d	e

Table 5. Concordance matrix

In de beslissingsprocedure wordt deze matrix samen met de discordantie-matrix gebruikt voor het kiezen van het juiste alternatief.

#### Discordantie-index

Met de discordantie-index wordt getracht een maatstaf te geven voor het niet overeenstemmen van twee alternatieven. De discordantie-index = het grootste verschil tussen twee gewogen criteriumwaarden, op voorwaarde dat voor dit criterium het alternatief, waarvoor de discordantie wordt bepaald, slechter is dan het alternatief waarmee wordt vergeleken, gedeeld door het maximale verschil tussen twee gewogen criteriumwaarden voor welk alternatievenpaar dan ook. Deze index wordt op de volgende wijze berekend.

Ten aanzien van de waardering van de alternatieven voor de verschillende criteria worden voor de berekening van de concordantie-index geen eisen gesteld. Bij de berekening van de discordantie-index worden echter waarderings tussens de criteria vergeleken. Daarom moeten de waarderingsschalen voor de verschillende criteria met elkaar in overeenstemming worden gebracht. Daarom wordt tabel 2 omgerekend tot een tabel met vergelijkbare schalen.

Tabel 6. Tabel 2 omgerekend naar vergelijkbare schalen

Kriteria Alternatief	1	2	3	4	5	6
a	2	0	1	3	1	2
b	0	1	2	1	0	2
c	1	0	1	0	1	2
d	2	0	2	3	1	2
e	0	1	2	1	2	1
Alternative Criteria	1	2	3	4	5	6

Table 6. The scales of table 2 are reconstructed so, that the results are not only comparable within criterions but also between criterions

Omdat de gewogen waarderingen voor de berekening van de discordantie-index nodig zijn wordt tabel 6 vermenigvuldigd met de betreffende gewichten.

Tabel 7. Waarderingen uit tabel 6 gewogen met de betreffende gewichten

Kriteria Alternatief	1	2	3	4	5	6
a	4	0	4	9	3	4
b	0	1	8	3	0	4
c	2	0	4	0	3	4
d	4	0	8	9	3	4
e	0	1	8	3	6	2
Alternative Criteria	1	2	3	4	5	6

Table 7. The values for the criterions in table 6 multiplied with the weights of the criterions

Het construeren van vergelijkbare schalen heeft als belangrijk bezwaar dat absolute verschillen binnen de waarderingsschalen worden herleid tot onderlinge verhoudingen, terwijl vervolgens voor de discordantie het grootste absolute verschil tussen de aldus herleide waarderingen voor de twee vergeleken alternatieven wordt geplaatst tegenover het grootst mogelijke absolute verschil. De aldus ontstane onnauwkeurigheid wordt nog versterkt door vermenigvuldiging met de gewichten.

Voor het vergelijkingspaar a ten opzichte van b vindt men in tabel 4 een nul voor de criteria 2 en 3, hetgeen inhoudt dat a voor deze twee criteria slechter is dan b. Het verschil tussen de waarderingen voor criterium 2 is gelijk aan 1 en voor criterium 3 is dit 4. Het maximale verschil dat hier mogelijk is, is gelijk aan 9, want voor geen enkele combinatie van twee alternatieven is een groter verschil dan 9 mogelijk. De verhouding  $\frac{4}{9}$  geeft de discordantie-index voor alternatief a ten opzichte van b. Wanneer de discordantie-indices voor alle mogelijke combinaties van twee alternatieven is bepaald, ontstaat de volgende matrix.

Tabel 8. Discordantie matrix

Alternatieven	a	b	c	d	e
a	.	0,44	0	0,44	0,44
b	0,67	.	0,33	0,67	0,67
c	1,00	0,44	.	1,00	0,44
d	0	0,11	0	.	0,33
e	0,67	0,22	0,22	0,67	.
Alternatives	a	b	c	d	e

Table 8. Discordance matrix

Voor de keuzeprocedure van het beste alternatief worden zowel de concordantie als de discordantie matrix gebruikt. We zullen eerst de beide matrices afzonderlijk bekijken. Een concordantie-index geeft

zoals we hebben gezien de mate aan waarin een alternatief beter dan of gelijk aan een ander is. Een concordantie-index 1 geeft aan dat het betreffende alternatief voor alle criteria beter dan of gelijk aan het alternatief is waarmee wordt vergeleken. Een index 0 houdt in dat het alternatief voor alle criteria slechter is dan het andere alternatief. Tussen deze beide uitersten liggen de indices in de concordantie matrix. Voor de discordantie-indices geldt eigenlijk hetzelfde. Een index 1 houdt in dat voor het betreffende alternatief het grootste verschil tussen twee criteriumwaarden gelijk is aan het maximale verschil. De waarde 0 geeft aan dat het alternatief voor alle criteria beter of gelijk is, het verschil tussen twee criteria waarvoor het alternatief slechter of gelijk is, is dan 0. Om tot een keuze te komen moeten eisen worden geformuleerd voor de minimumwaarden van de concordantie- en discordantie indices. De concordantie-index moet zo dicht mogelijk bij 1 liggen en de discordantie-index zo dicht mogelijk bij 0. Zijn deze minimumwaarden vastgesteld, dan kan begonnen worden met het elimineren van de alternatieven, die niet aan deze voorwaarden voldoen. Met betrekking tot de eliminatie van onbevredigende alternatieven gelden de volgende regels:

- ieder geëlimineerd alternatief moet door minstens één overblijvend alternatief gedomineerd worden;
- twee overblijvende alternatieven mogen elkaar niet domineren.

Als de groep die na eliminatie overblijft nog maar één alternatief bevat, dan is dat de meest aangewezen keus. Blijven er na eliminatie bij bepaalde drempelwaarden meerdere alternatieven over, dan kan door verlaging van de drempelwaarden deze groep worden teruggebracht tot één alternatief. Is echter verdere verlaging van drempelwaarden onaanvaardbaar, dan moet een complementaire keuzetechniek worden toegepast.

Toepassing van de keuzeprocedure op het voorbeeld geeft het volgende resultaat. Wanneer we voor concordantie de drempelwaarde 0,75 en voor discordantie de drempelwaarde 0,25 aanvaardbaar achten, dan krijgen we het volgende resultaat. Uit de concordantie matrix volgt bij een drempelwaarde 0,75



a domineert c  
 b " e  
 d " a, b en c  
 e " b

Concordantie-indices met een lagere waarde dan 0,75 mogen namelijk niet verder worden meegenomen en worden geëlimineerd.

Uit de discordantie matrix volgt bij een drempelwaarde 0,25:

a domineert c  
 d " a, b en c  
 e " b en c

Uit beide matrices volgt:

a domineert c  
 d " a, b en c  
 e " b

Hieruit volgt dat d en e overblijven; zij kunnen niet worden geëlimineerd, omdat niet kan worden vastgesteld of d domineert over e dan wel e domineert over d.

Indien we de drempelwaarde voor de discordantie matrix verhogen tot 0,35 en die voor de concordantie matrix verlagen tot 0,70 krijgen we het volgende resultaat:

uit de concordantie matrix volgt:

a domineert c en d  
 b " e  
 d " a, b, c en e  
 e " b en c

uit de discordantie matrix:

a domineert c  
 b " e  
 d " a, b, c en e  
 e " b en c

uit beide matrices:

a	domineert	c
d	"	a, b, c en e
e	"	b en c

Hieruit volgt dat alternatief d als enig alternatief overblijft dat niet door andere wordt gedomineerd.

### 2.3. Moeilijkheden bij toepassing op het Lopikerbos

De Electra-methode is ontworpen voor het doen van een keuze uit een aantal alternatieven. Getracht wordt dus het meest gunstige alternatief te vinden. Als de probleemstelling van de plaatskeuze van het Lopikerbos was geweest het kiezen van de meest gunstige lokatie uit een beperkt aantal mogelijke lokaties, dan was de Electra-methode direct toepasbaar geweest. De vraag is echter hoe kunnen een zeer groot aantal kleine deelgebieden in groepen worden gerangschikt.

Door Van Der Meer en Opschoor is een computerprogramma opgesteld. Dit programma is echter ook geschreven voor een beperkt aantal alternatieven. Voor een groot aantal alternatieven zou dit programma moeten worden aangepast.

### 2.4. Kenmerken en bezwaren

De eisen die aan de nauwkeurigheid van het basismateriaal worden gesteld zijn de volgende. Voor de berekening van de concordantie-index is het voldoende wanneer per criterium de rangorde van de alternatieven bekend is. De schalen van de verschillende criteria kunnen dus verschillend zijn. Voor de berekening van de discordantie-index moeten de schalen echter vergelijkbaar zijn. Dit houdt in dat het uitgangsmateriaal een nauwkeurigheid moet hebben, waarvan slechts een beperkt gebruik wordt gemaakt, hetgeen neerkomt op het onvoldoende gebruik maken van beschikbare informatie. Voor de beslissingsprocedure wordt gebruik gemaakt van de concordantie- en de discordantie matrix en gekozen drempelwaarden. Deze drempelwaarden worden tijdens

de beslissingsprocedure verlaagd en op deze wijze wordt getracht tot een uiteindelijke keuze te komen. Het vaststellen van drempelwaarden is niet eenvoudig en bovendien is het moeilijk te bepalen tot hoever men mag gaan bij het verlagen van de drempelwaarden. Wanneer de beide matrices tot een matrix worden teruggebracht is het mogelijk uitspraken te doen over de alternatieven zonder de drempelwaarden vast te stellen.

### 3. ELECTRA AANGEPAST

#### 3.1. B e s c h r i j v i n g m e t h o d e

In samenwerking met de heer Van Doorne van de afdeling Wiskunde ICW is de Electra-methode zo ontwikkeld dat het mogelijk wordt voor een reeks alternatieven een volgorde te bepalen. Deze rangorde is zo stabiel dat de indeling van een groot aantal alternatieven in enkele categorieën heel goed mogelijk is. Getracht wordt met behulp van een eenvoudig voorbeeld de werking van de ontwikkelde methode te demonstreren. Als basismateriaal kunnen de gegevens worden gebruikt, waarmee het principe van de Electra-methode is gedemonstreerd (tabel 2 en 3).

We beginnen weer met alternatief a en stellen vast voor welke criteria a beter dan of gelijk aan b is. Wanneer we dit voor een criterium constateren noteren we een + en het gewicht van het betreffende criterium. Wanneer we voor een criterium constateren dat a slechter dan of gelijk aan b is, noteren we een - en het betreffende gewicht. Na vergelijking van alle criteria voor beide alternatieven wordt de som van de positieve en negatieve gewichten bepaald. De positieve gewichten geven de concordantie, de negatieve gewichten de discordantie aan. Op deze wijze is het mogelijk beide indices in een index onder te brengen. Bovendien is het niet nodig voor de discordantie tabel 2 om te rekenen tot een tabel met vergelijkbare schalen (tabel 6). Ook wordt in de berekening van de discordantie-index niet rekening gehouden met een verschil, maar alle verschillen spelen afhankelijk van het gewicht dat er aan wordt gehecht ten volle mee bij

het bepalen van de discordantie. Voor de alternatieven a ten opzichte van b is het resultaat: concordantie +0,67, discordantie -0,47, totaal index +0,20. Voor de alternatieven a ten opzichte van c is deze totaal index 0,33. Als vervolgens ieder alternatief met alle andere alternatieven wordt vergeleken ontstaat de volgende matrix. Deze is symmetrisch ; voor de verdere verwerking - bepaling van de totaal score - is de matrix volledig genoteerd.

Tabel 9. Score matrix

Alternatieven	a	b	c	d	e
a	.	+0,20	+0,33	-0,27	-0,07
b	-0,20	.	+0,21	-0,46	-0,07
c	-0,33	-0,21	.	-0,60	-0,48
d	+0,27	+0,46	+0,60	.	+0,20
e	+0,07	+0,07	+0,48	-0,20	.
Alternatives	a	b	c	d	e

Table 9. Score matrix

Een positieve score in deze matrix houdt dus in dat het belang van de criteria, waarvoor het betreffende alternatief beter is dan het alternatief waarmee wordt vergeleken, domineert. Een negatieve score houdt in dat het belang van de criteria, waarvoor het betreffende alternatief slechter is dan het alternatief waarmee wordt vergeleken, domineert. Een nul score geeft aan dat beide belangen gelijk zijn.

Bepalend voor de rangorde van een alternatief zijn de scores in de matrix. Afhankelijk van de betrouwbaarheid van de gewichten kan men de betekenis van deze gewichten in de volgordebepaling sterk of minder sterk tot uitdrukking laten komen. De betekenis van de gewichten is groot, wanneer in de bovenstaande matrix de positieve indices zelf worden gesommeerd. De betekenis van de gewichten wordt geringer, wanneer voor iedere positieve score het getal 2 wordt geteld, voor

iedere neutrale score (nul) het getal 1 en voor iedere negatieve score een 0. Duiden we de eerste benadering aan met I en de tweede met II, dan ontstaan de volgende reeksen.

Tabel 10. Volgordebepaling van de alternatieven volgens benadering I (de gewichten worden volledig opgenomen) en volgens benadering II (de betekenis van de gewichten is verminderd)

Volgorde nr.	Benadering II		Benadering I	
	waardering	alternatief	waardering	alternatief
1	8	d	1,52	d
2	6	e	0,63	e
3	4	a	0,52	a
4	2	b	0,21	b
5	-	c	-	c
nr. Order	total score	alternative	total score	alternative
	Variant II		Variant I	

Table 10. Ordering of the alternatives according variant I and variant II

De betekenis van de gewichten kan met deze methode dus enigszins worden verminderd. Het is ook mogelijk de betekenis van de gewichten alleen als een volgorde van belangrijkheid te beschouwen. Om dit mogelijk te maken moet de bepaling van de score echter worden gewijzigd. Voor elke vergelijking van twee alternatieven kan aanvankelijk dezelfde procedure worden gevolgd. Nagegaan wordt of de waardering van een criterium voor alternatief a beter, gelijk aan of slechter is dan voor alternatief b. Als de trits beter, gelijk of slecht wordt uitgedrukt in +, 0, -, dan ontstaat voor a ten opzichte van b de volgende reeks.

Tabel 11. Vergelijking van alternatief a ten opzichte van b ten aanzien van de 6 criteria

Kriteria	1	2	3	4	5	6
a t.o.v. b	+	-	-	+	+	0

Table 11. Comparison of alternative a with b according to the 6 criterions

Voor de berekening is het nodig de volgorde van de gewichten uit te drukken in een cijfer; het meest eenvoudig gebeurt dit door nummering (van 1 tot 6 in het voorbeeld).

Tabel 12. Volgorde van de belangrijkheid van de gewichten

Kriteria	1	2	3	4	5	6
Volgorde van de gewichten	5	6	1	2	3	4

Table 12. Order of the weights

Met het voorlopige resultaat (tabel 11) van de vergelijking van de twee alternatieven en de volgorde van de gewichten (tabel 12) worden de criteria als volgt paarsgewijze vergeleken.

Wanneer criterium 1 wordt vergeleken met criterium 2 zien we dat in tabel 11 voor criterium 1 is aangegeven + en voor criterium 2 -. Nu zal de + of de - domineren afhankelijk van de betekenis van de gewichten van de criteria 1 en 2. In tabel 12 zien we de volgorde van de gewichten. Het gewicht van criterium 2 is nr. 6 in de volgorde en het gewicht van criterium 1 staat op de vijfde plaats. Hieruit volgt dat de + van criterium 1 zal domineren over de - van criterium 2. Na vergelijking van alle criteria ten opzichte van elkaar ontstaat de volgende matrix.

Tabel 13. Vergelijking tussen de criteria voor de alternatief a ten opzichte van b

Kriteria	1	2	3	4	5	6
1	+	+	-	+	+	+
2		-	-	+	+	-
3			-	-	-	-
4				+	+	+
5					+	+
6						0
Criteria	1	2	3	4	5	6

Table 13. Comparison between the criteria for the alternative a according to b

Als score voor de alternatief a ten opzichte van b worden de positieve scores voor a geteld. Van de neutrale scores (0) wordt de helft bij a geteld. Om de scores in een getal te kunnen weergeven krijgen de positieve scores de waarde 2, de neutrale scores de waarde 1 en de negatieve scores de waarde 0. De score voor alternatief a ten opzichte van b wordt dan 25. Na vergelijking van alle alternatieven ten opzichte van elkaar ontstaat de volgende matrix.

Tabel 14. Score matrix

Alternatieven	a	b	c	d	e	totaal score
a	.	25	32	15	20	92
b	17	.	27	9	20	73
c	10	15	.	6	10	41
d	27	33	36	.	27	123
e	22	22	32	15	.	91
Alternatives	a	b	c	d	e	total score

Table 14. Score matrix

Deze aangepaste Electra-methode gaat uit van waarderungen van de alternatieven voor verschillende criteria. Deze waarderungsschalen behoeven niet vergelijkbaar te zijn. Ten aanzien van de gewichten zijn er bij de besproken methoden drie mogelijkheden. De gewichten tellen volledig mee, de absolute waarde van de gewichten wordt in de eindscore afgezwakt en alleen de verhouding van de gewichten ten opzichte van elkaar telt mee. De methode heeft dus het voordeel dat uitgaande van hetzelfde basismateriaal, afhankelijk van de betrouwbaarheid van de gewichten een aangepaste methode kan worden gebruikt. Ter onderlinge vergelijking worden de drie varianten hier naast elkaar weergegeven.

Tabel 15. Volgorde bepaling volgens de drie benaderingen

Volg- orde nr.	Benadering I		Benadering II		Benadering III	
	waardering	alternatief	waardering	alternatief	waardering	alternatief
1	1,52	d	8	d	123	d
2	0,63	e	6	e	92	a
3	0,52	a	4	a	91	e
4	0,21	b	2	b	73	b
5	-	c	-	c	41	c
nr. Order	total score	alternative	total score	alternative	total score	alternative
	Variant I		Variant II		Variant III	

Table 15. Order of the alternatives according to the three variants

De verkregen volgorde is niet altijd stabiel. Voor de indeling in groepen levert dit geen enkel bezwaar op. Het kiezen van het beste alternatief is ook mogelijk want de rangorde kan stabiel worden door verdere bewerkingen (zie hiervoor de verdere uitwerking van de aangepaste Electra-methode door VAN DOORNE, 1974).



### 3.2. T o e p a s s i n g o p h e t L o p i k e r b o s

Voor de toepassing van de drie varianten van de ontwikkelde aangepaste Electra-methode is gebruik gemaakt van de basisgegevens zoals die door Staatsbosbeheer zijn vastgesteld. Voor een juiste plaatskeuze zijn echter enige aanvullingen nodig. Enkele verdreven bestemmingen zijn hier niet in de criteria opgenomen. De landbouw is een van die bestemmingen, maar ook de recreatie, die na het realiseren van het bos niet meer mogelijk is, is een andere (het betreft hier met name de sportvisserij). Het opnemen van deze aanvullingen is echter niet eenvoudig. Voor een plaatskeuze, waarbij genoemde bestemmingen als criteria zijn opgenomen en tevens de gewichten opnieuw zijn vastgesteld, wordt verwezen naar ICW nota 807. Omdat het in deze nota speciaal gaat om de methode van plaatskeuzen, wordt hier gebruik gemaakt van de ongewijzigde gegevens van Staatsbosbeheer, mede om de resultaten vergelijkbaar te houden met die uit de paragrafen 1.2 (kaart 1) en 1.3 (kaart 2). De resultaten van de toepassing van de gewijzigde Electra-methode op het Lopikerbos zijn weergegeven op de kaarten 3 tot en met 5.

#### SLOTOPMERKINGEN

Multicriteria methoden kunnen worden beschouwd als puntensystemen. Er wordt gerekend met waarderingen en gewichten. Deze waarderingen zijn steeds gemiddelde waarden. Bij de onderhavige plaatskeuze-problematiek is een waardering van een geheel gebied nodig en moet een qua omvang bekend bosgebied worden geplaatst binnen het gehele gebied. Wanneer echter de omvang van het bosgebied binnen het gehele gebied moet worden vastgesteld, mag niet meer met gemiddelde waarden worden gecalculeerd, maar moet worden gelet op de extra's die in de verschillende blokken worden gerealiseerd ten aanzien van bepaalde voorzieningen. Hier moet dus gerekend worden met marginale waarden. Omdat het, zoals reeds is aangegeven, bij de besproken plaatskeuze gaat om de beoordeling van een gebied als geheel is het mogelijk multicriteria methoden te gebruiken. De methode van gewogen waarderingen

reken met de absolute waarden van waarderingen en gewichten. Deze waarderingen en gewichten zijn echter moeilijk vast te stellen. De eindwaardering, die via deze methode tot stand komt, suggereert een nauwkeurigheid die niet aanwezig is. De aangepaste Electra-methode werkt niet met de absolute waarderingen, maar gaat na of een alternatief ten aanzien van de verschillende criteria beter, gelijk aan of slechter is dan een ander alternatief. De rol van de gewichten kan variëren van absolute waarden tot een rangorde. Bij de aangepaste Electra-methode komt dit tot uitdrukking door de drie varianten. Wanneer de absolute gewichten niet al te veel uiteenlopen in waarde is het effect van het verminderen van de invloed van de absolute waarde van de gewichten niet groot. Dit is duidelijk te zien aan de toepassing van de drie varianten van de aangepaste Electra-methode op de keuze van de plaats voor het bos in de Lopikerwaard (kaarten 3 tot en met 5).

#### LITERATUUR

- BERNARD, G. et M.L. BESSON. 1971. Douze méthodes d'analyse multicritère. *Revue Informatique et de Recherche Opérationnelle*, no. V-3, p. 19.
- BERTIER, P. et J. DE MONTGOLFIER. 1971. Comment choisir, en tenant compte de points de vue non-commensurables. *Analyse et Révision*, no. 5.
- DAMEN, J.C.G. 1973. Nadere bepaling van de plaats voor het Lopikerbos. *Nota ICW 807*.
- DOORNE, W. VAN. 1974. Multicriteria analyse: theorie en toepassing van indirecte vergelijking in een score matrix. *Nota ICW 806*.
- GUIGOU, J.L. 1971. On french location models for production units. *Regional and urban economics*. Vol. 1, no. 2. p. 107.
- HILL, M. and Y. TZAMIR. 1972. Multidimensional evaluation of regional plans serving multiple objectives. *Papers of the Regional Science Association*. Vol. 29. p. 139.
- LINGOES, J.C. 1968. The multivariate analysis of quantitative data. *Multivariate behavioral research*. Vol. 13 (Jan.). p. 61.

MEER, G.J. VAN DER en J.B. OPSCHOOR. 1973. Multicriteria analyse  
- de Electra methode.-Werknota nr. 17, Vrije Universiteit  
Amsterdam.

SPIJK, P. 1969. Gedachten over de werkwijze ten aanzien van landin-  
richtingsplannen: alternatieven en beoordelingsaspecten. Ste-  
debouw en Volkshuisvesting nr. 50.

## SUMMARY

In one of the land division plans of the area Lopikerwaard a new forest was projected. For the location of this forest the landscape architectural division of the State Forestry Service has made an attempt to locate the forest. From six objectives nine criterions are derived.

Objectives	Criterions
a a forest of 500 ha	a condition of the project
b landscape maximation, sacrifice of the less attractive landscapes	openness of the landscape (1) visual attraction (2) soil suitability for forestry(3)
c timber maximation revenue maximation and cost-minimation	density of ditches or water course (4)
d flora and fauna maximation particularly special and rare species	barriers like roads (5) potential variation of soil quality and groundwater (6)
e possibility for recreational use	distances to population centres (7)
f maintenance of important present uses	buildings (8) scenery (9)

The total area was divided into 557 parts of 25 hectare and for every part the criterions where appraised. For each criterion also a weight was determined. A score was established for every part by multiplying appraisal and weight for every criterion and adding them for all the criterions. This method is a simple one although it suggested an accuracy that is often not real because of the unreliability of the weights and appraisals. Therefore the Electra method is used, a method developed in France in + 1960 (BERNARD and BESSON (1971), but this method was developed to determine the best one out a few alternatives. Here we had 557 alternative parts so we had to modify the Electra method to get a system to order the parts because we need not the best part but a group of 20 parts that are the best. The mutual order of that 20 parts was not so important.

To reduce the cost for development of the modification of the Electra method the number of parts was reduced to 140 by taking four parts of 25 ha together to a part of 100 ha (1 square km).

Here I will describe the working of the Modified Electra Method shortly. For a criterion the appraisal of a part is compared with that of another part and when the appraisal of that part is higher, or lower than the part with which it is compared, the weight attached to that criterion is taken positive respectively negative. When these two parts are compared in this way for every criterion, the results are summed and so we get the score for that part with regard to the part with which it is compared. By comparing every part with all other parts in the way indicated above, we get a total number of scores that is the same as the total number of parts minus one (namely the comparison with itself). When further for a part the scores of the comparisons with all the other parts are summed, you get the total score for that part. With these total scores the parts can be ranked.

This method can be used when the scales of appraisal between the criterions are not comparable. Only a ranking of all the parts for a criterion is sufficient (the absolute value is not important).

The importance of the weights can be moderated with this method. If we call the variant described above variant number I, variant number II can be indicated as follows.

The establishment of the scores of the parts is the same as described in variant I. To get the total scores, the scores are summed after a positive score is changed into the figure 2, a neutral score into the figure 1 and a negative score into the figure 0. The meaning of the weights in the total score is so diminished. In variant III the absolute weights are ranked for the establishment of the scores and the total scores are determined in the same way as in variant I by summing the scores.

#### N u m e r i c a l e x a m p l e

Instead of a great number of alternatives that had to be divided in a few categories, only a few alternatives are used to

show the working of the method.

The basic material used is given in the tables 2 and 3.

We start comparing alternative a with b. For the first criterion we see that the appraisal for a is higher than for b, so we take the weight of criterion a positive (+0.13). We continue with the following criterion and see that a is smaller than b, so we note (- 0.07). The third comparison gives - 0.27, and the next both + 0.2. For the last criterion both appraisals are the same, so there is no contribution to the score, which is found by adding the results of this comparisons. The score of the comparison of alternative a with b is + 0.21. Now a is compared with c and so on. The results of all these comparisons are given in table 9.

For ranking the five alternatives the total score for each alternative is determined by adding the positive scores horizontally (variant I).

Application of variant II is simple now, using the same score matrix (table 9) one can establish the total score not by adding all positive scores themselves but taking every positive score for 2, every neutral score (0) for 1 and every negative score for 0.

Further diminishing of the significance of the weights is established in variant III. The start of the procedure is the same as for the other two variants. Comparing alternative a with b for every criterion is recorded if the appraisal for a is higher, lower or the same as that for b. This is expressed by the signs respectively +, - or 0 (see table 11).

For further computations not the absolute value of the weights but only the order of the weights is used, so the weights are set in an order (see table 12).

To compose the score matrix, the results of the comparison of the alternatives (for example a with b (table 11)) and the order of the weights (table 12) are used. The results of the comparison of every pair of alternatives are also compared for every pair of criterions.

If for example we take the results of the comparison of the alternative a with b (table 11), we compare criterion 1 with

criterion 2. We see that 1 is positive and 2 is negative. To come to an appraisal for this comparison we must take into account the order of the weights (table 12). Because the weight of criterion 1 is of a higher order than that of criterion 2, this comparison is valued positive. So the comparison of criterion 2 with criterion 3 is valued negative. The results of the comparisons between the criterions are given in the following matrix (table 13).

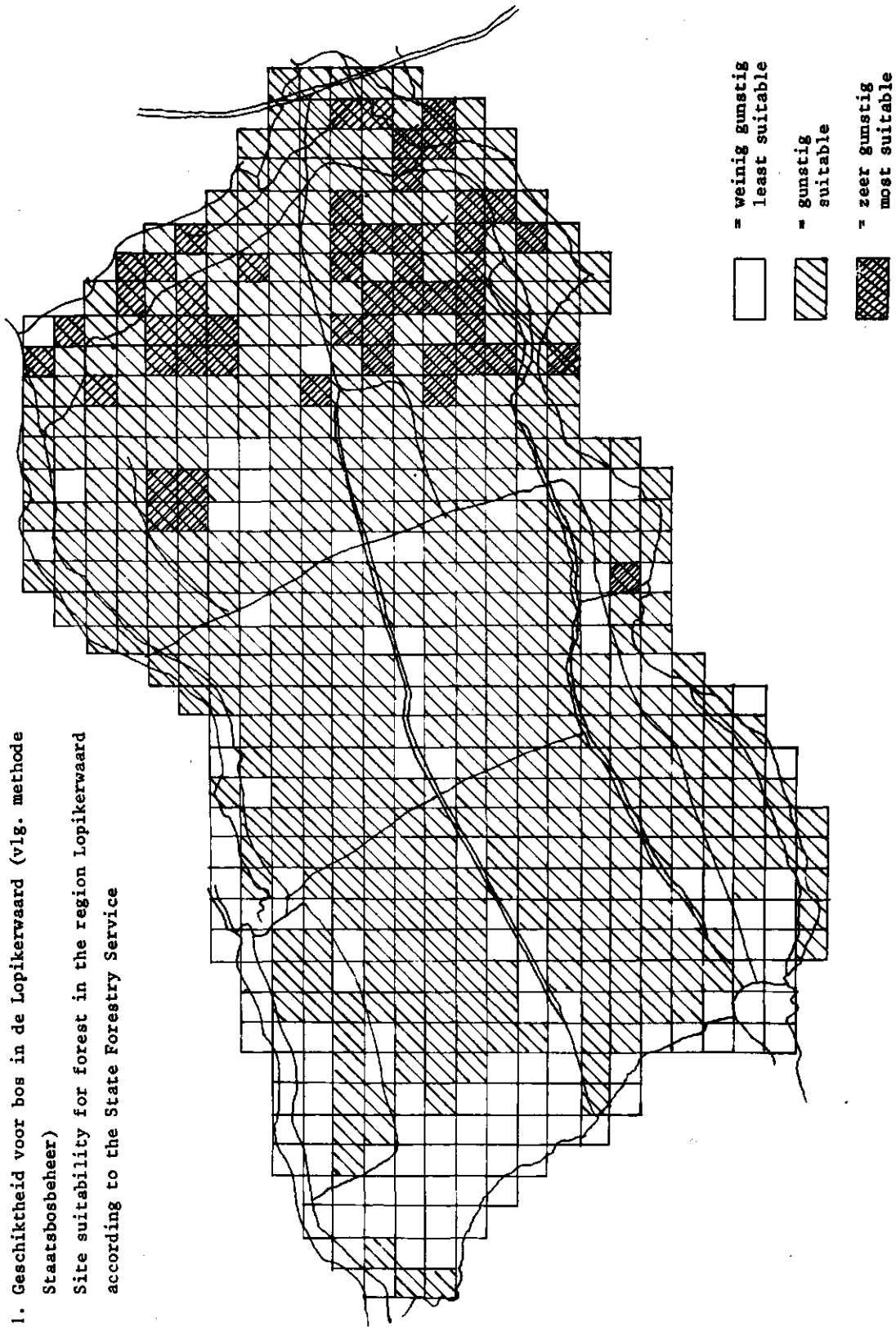
As score for the comparison of alternative a with b the positive marks are valued with 2, the neutral marks with 1 and the negative with 0. So the score of alternative a according to be is 25. After comparing all the other alternatives in the same way, the score matrix (table 14) results.

Ranking is possible after adding the results in the score matrix to a total score per alternative.

The ordering results of the three variants of the modified Electra method are given in table 15.

Kaart 1. Geschiktheid voor bos in de Lopikerwaard (vlg. methode  
Staatsbosbeheer)

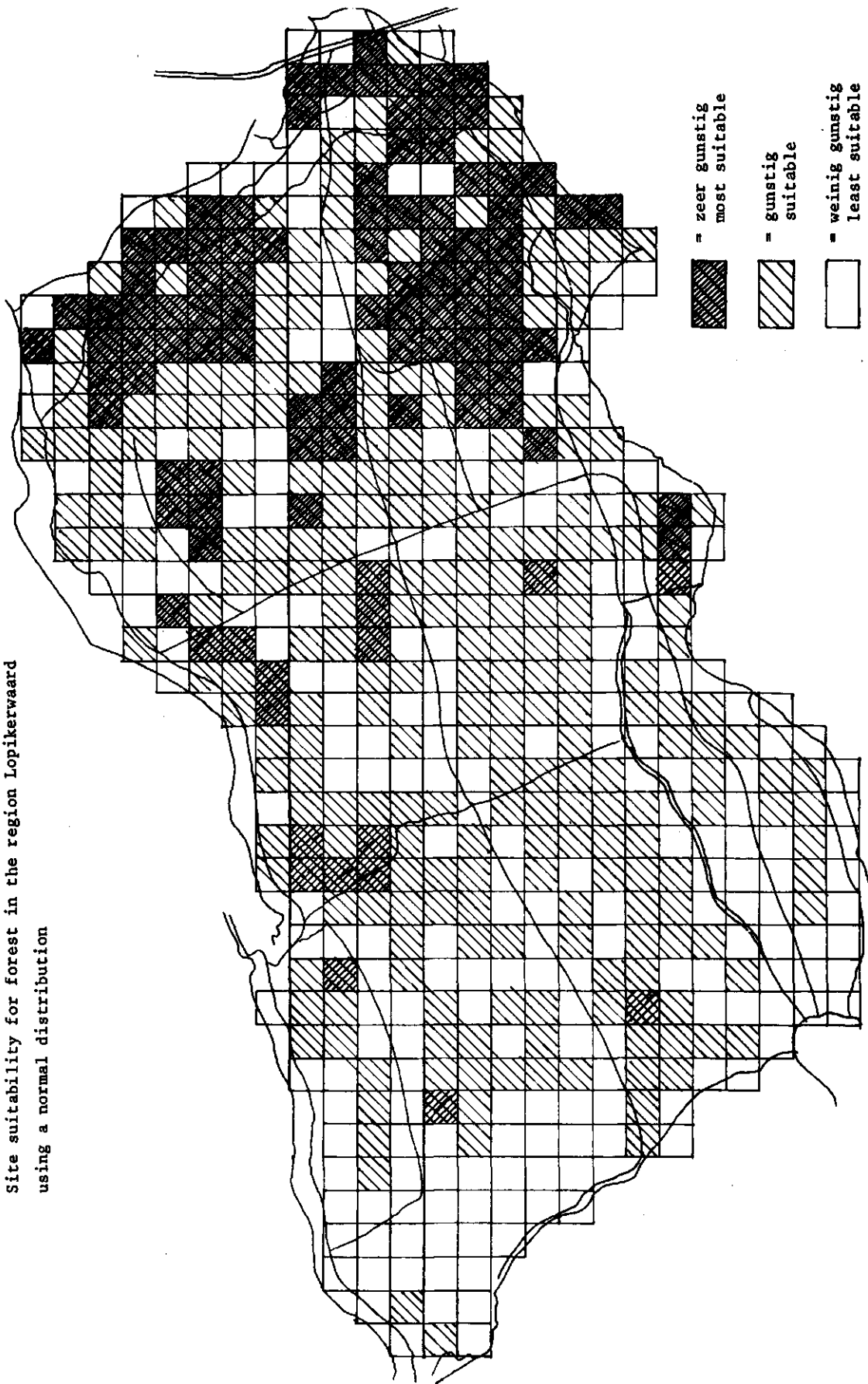
Site suitability for forest in the region Lopikerwaard  
according to the State Forestry Service





Kaart 2. Geschiktheid voor bos in de Lopikerwaard (vlg. benadering  
via normale verdeling)

Site suitability for forest in the region Lopikerwaard  
using a normal distribution

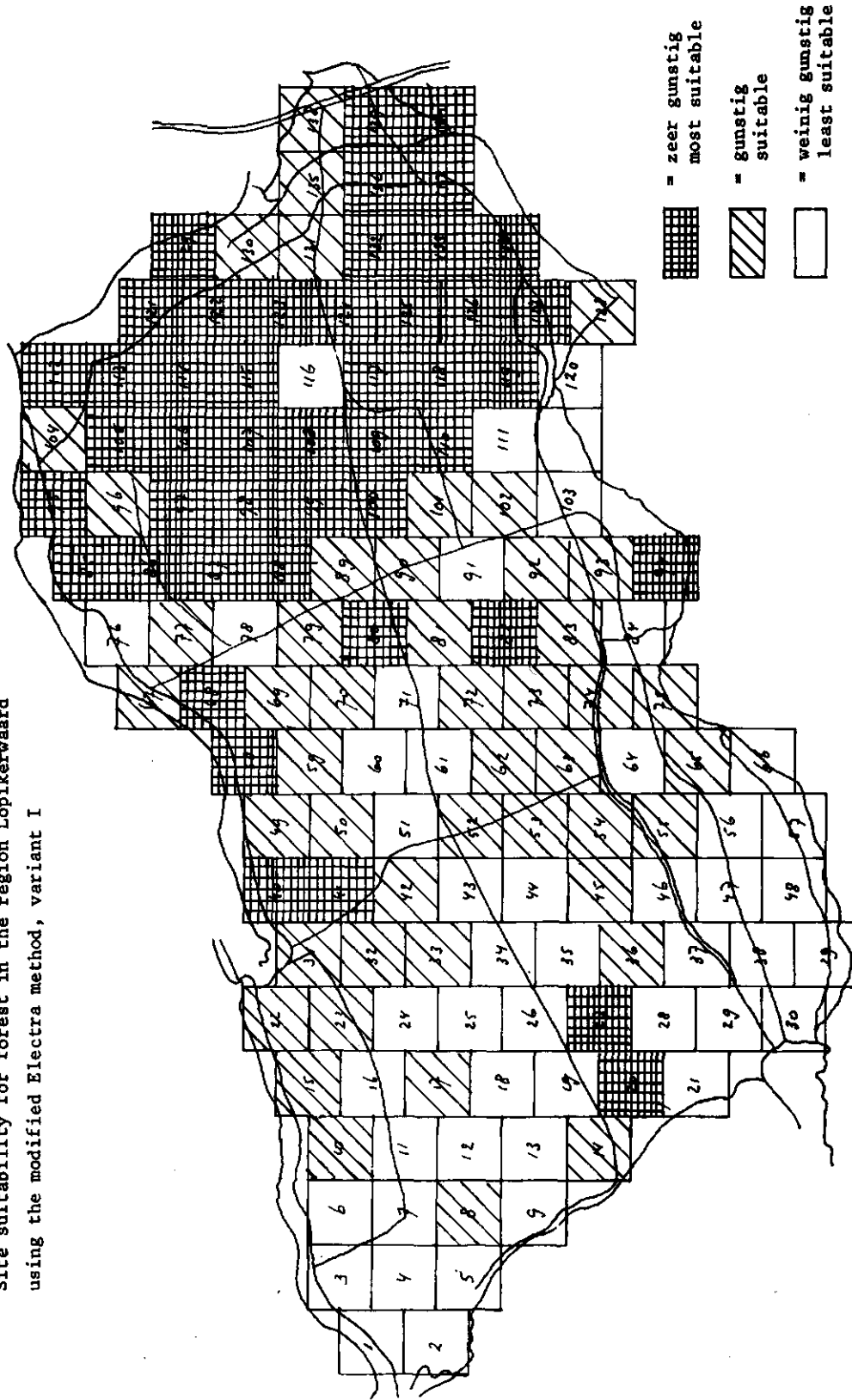


Kaart 3. Geschiktheid voor bos in de Lopikerwaard (vlg. aangepaste

Electra methode, variant I

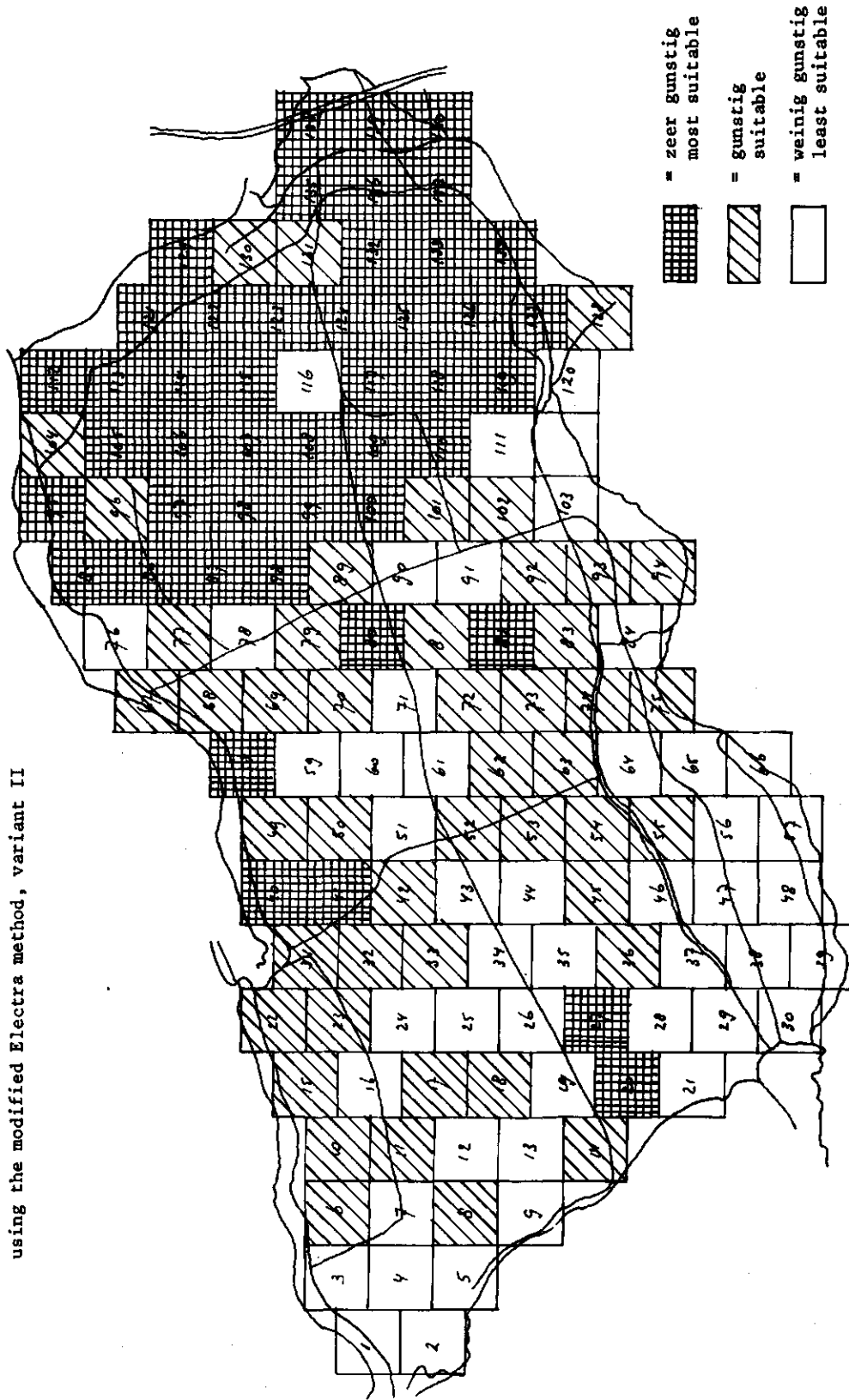
Site suitability for forest in the region Lopikerwaard

using the modified Electra method, variant I



Kaart 4. Geschiktheid voor bos in de Lopikerwaard (vlg. aangepaste Electra methode, variant II)

Site suitability for forest in the region Lopikerwaard using the modified Electra method, variant II



Kaart 5. Geschiktheid voor bos in de Lopikerwaard (vlg. aangepaste Electra methode, variant III)

Site suitability for forest in the region Lopikerwaard using the modified Electra method, variant III

