

NR. 5

**Ralf Ziegenbein**

**CriterionEUS**  
**Ein multikriterielles**  
**Entscheidungsunterstützungssystem**  
**unter Excel**

INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSINFORMATIK DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER  
GREVENER STR. 91, 48159 MÜNSTER, TEL. (0251) 83-9752, FAX. (0251) 83-9754

EMAIL: GROB@UNI-MUENSTER.DE  
<http://www-wi.uni-muenster.de/aw/>

Oktober 1996

# INHALT

<b>1 Fragestellung</b>	1
<b>2 Das Softwareprodukt CriterEUS</b>	2
2.1 Die Eigenschaften	2
2.2 Hard- und Softwareanforderungen	2
2.3 Installation	3
2.4 Die Menüstruktur	3
<b>3 Modellierung multikriterieller Entscheidungssituationen</b>	4
3.1 Theoretische Grundlagen	4
3.1.1 Konzeptioneller Rahmen	4
3.1.2 Aufstellung eines Zielsystems	5
3.1.3 Bestimmung der Alternativen	6
3.1.4 Bewertung von Alternativen und Zielen	6
3.1.4.1 Partielle Präferenzen	6
3.1.4.2 Skalentransformation	7
3.1.4.3 Globale Präferenzen	9
3.2 Diskretes Modell	10
3.2.1 Definition	10
3.2.2 Modellanforderungen in CriterEUS	10
3.2.3 Modellübernahme in CriterEUS	11
3.3 Stetiges Modell	13
3.3.1 Definition	13
3.3.2 Modellanforderungen in CriterEUS	13
3.3.3 Modellübernahme in CriterEUS	14
<b>4 Analyse multikriterieller Entscheidungsmodelle</b>	15
4.1 Theoretische Grundlagen	15
4.2 Analyse unter CriterEUS	16
4.3 Methoden zur Analyse diskreter Probleme	18
4.3.1 Disjunktives und konjunktives Vorgehen	18
4.3.2 Preis-Leistungs-Modell	18
4.3.3 Lexikographische Methode	19
4.3.4 Aspektweise Elimination	20
4.3.5 Nutzwertanalyse	21
4.3.6 ELECTRE	23
4.4 Methoden zur Analyse stetiger Probleme	25
4.4.1 Überblick	25
4.4.2 Lexikographisches Goalprogramming	26
4.4.3 Interactive Multiple Goalprogramming (IMGP)	27
<b>5 Kritische Würdigung</b>	29
<b>Anhang</b>	30
<b>Literaturverzeichnis</b>	33

## 1 Fragestellung

Entscheidungen werden in der Realität häufig nicht aufgrund eines einzelnen Zielkriteriums, sondern auf der Basis von Kriterienbündeln gefällt<sup>1</sup>. Deshalb verwundert es, daß erst eine geringe Anzahl an multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystemen entwickelt und eingesetzt wurde.<sup>2</sup> Hinzu kommt, daß die wenigen existierenden Systeme jeweils nur bestimmte Arten von multikriteriellen Problemen behandeln können.<sup>3</sup>

Auf der Basis der in der Theorie formulierten Anforderungen an ein multikriterielles Entscheidungsunterstützungssystem wurde mit dem Softwareprodukt CriterEUS versucht, einen Ansatz zu finden, zur Schließung dieser Lücke beizutragen.<sup>4</sup>

CriterEUS bietet eine Entscheidungsunterstützung für Probleme, bei denen gleichzeitig mehrere Ziele verfolgt werden müssen, die entweder quantifizierbar (z. B. Preis, Menge) oder nicht-quantifizierbar (z. B. Qualität, Service) sind. Außerdem können die Ziele in einem komplementären oder konfliktären (konkurrierenden) Verhältnis zueinander stehen.

Ferner ermöglicht die Anwendung von CriterEUS die Berücksichtigung subjektiver Bewertungen. Es können individuelle Informationen sowohl über die Ziele, wie Wichtigkeit und Mindesterfüllung, als auch über die Alternativen verarbeitet werden, soweit diese anhand von nicht-quantifizierbaren Zielen beurteilt werden können bzw. müssen.

In CriterEUS sind unterschiedliche Verfahren implementiert worden, so daß sich je nach der Entscheidungssituation geeignete Verfahren auswählen lassen, die ein Problem konsistent analysieren.

Der Aufbau dieses Beitrags ist wie folgt. In Kapitel 2 werden zunächst die Eigenschaften, die Systemanforderungen und die Architektur von CriterEUS beschrieben. Kapitel 3 befaßt sich mit der Modellierung multikriterieller Entscheidungssituationen in der Theorie und unter CriterEUS. Die Modellierung ist Voraussetzung für die im anschließenden Kapitel 4 beschriebene methodenbasierte Analyse solcher Probleme. Im letzten Kapitel wird dann ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben.

---

<sup>1</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. V.

<sup>2</sup> Vgl. Buede, D. M. (1992), S. 59 f.

<sup>3</sup> Ebenda.

<sup>4</sup> Zu den Anforderungen vgl. Jelassi, M. T., Jarke, M., Stohr, E. A. (1985), S. 26.

## 2 Das Softwareprodukt CriterEUS

### 2.1 Die Eigenschaften

CriterEUS ist ein multikriterielles Entscheidungsunterstützungssystem (EUS-MK). Es dient Entscheidungsträgern bei der Lösung von Problemen mit mehrfacher Zielsetzung. Insofern bietet CriterEUS beispielsweise bei Investitionsprojekten mit multiplen Zielen die Möglichkeit einer Entscheidungsunterstützung. Auf der Basis auswählbarer Modellierungsansätze und Methoden analysiert CriterEUS das gegebene Problem und gibt Handlungsempfehlungen zur Problemlösung ab.

CriterEUS weist drei wesentliche Funktionen zur Bearbeitung multikriterieller Probleme auf:

- (1) die *Modellierung*, die es erlaubt, ein Entscheidungsproblem formal richtig abzubilden und zu bearbeiten,
- (2) die *Analyse* zur Untersuchung des Problemmodells und zur Ermittlung von Handlungsempfehlungen und
- (3) die *Ausgabe* zur Präsentation von Ergebnissen und Zwischenergebnissen, welche eine weitere Bearbeitung erlaubt.

Es können von CriterEUS sowohl *diskrete* Probleme, d. h. Entscheidungssituationen mit einer begrenzten, meist sehr kleinen Zahl an Handlungsalternativen, als auch *stetige* Probleme mit unendlichem Lösungsraum analysiert werden.

### 2.2 Hard- und Softwareanforderungen

CriterEUS wurde unter der Makroprogrammiersprache „Visual Basic für Applikationen“ (VBA) entwickelt. Daher müssen zur Anwendung dieses EUS-MK folgende Systemanforderungen erfüllt sein:

- (1) Bei dem Computer muß es sich um einen IBM-kompatiblen PC mit mindestens 80286-Prozessor und 4 MB Arbeitsspeicher handeln. Empfohlen wird aus Gründen der Geschwindigkeit ein Rechner mit einem 80386-Prozessor oder höher.
- (2) Das System muß über einen grafikfähigen Bildschirmadapter verfügen. Empfohlen wird eine Bildschirmauflösung von mindestens 800 x 600 Punkten.
- (3) Das Betriebssystem sollte MS-DOS 5.0 oder neuer sein. Als grafische Oberfläche muß MS-Windows mindestens in der Version 3.0 verfügbar sein.
- (4) Der Computer muß über MS-Excel 5.0 verfügen. Das dazugehörige Add-In „Solver“ muß installiert sein.

## 2.3 Installation

Die auf dem beigelegten Datenträger befindliche Datei „EUSMK.XLA“ muß zusammen mit einer Kopie der Datei „SOLVER.XLA“ in ein beliebiges Verzeichnis auf der Festplatte des Rechners kopiert werden.<sup>1</sup> Nach Starten des Tabellenkalkulationsprogramms Excel ist der Menüpunkt *Extras/Add-In-Manager* auszuwählen. In der dazugehörigen Dialogbox ist die Taste *Durchsuchen* anzuklicken. Aus dem Verzeichnis ist die Datei „EUSMK.XLA“ auszuwählen. Wird die Auswahl mit *OK* bestätigt, wird das Add-In „CriterEUS“ geladen. Es ist darauf zu achten, daß das neue Kontrollkästchen, das zu CriterEUS gehört, durch ein Kreuz markiert ist. Dieser Vorgang ist einmalig durchzuführen. Bei der Wiederverwendung von CriterEUS muß lediglich das Kontrollkästchen aktiviert werden.

## 2.4 Die Menüstruktur

Ist CriterEUS aktiv, erscheint auf Tabellenblattebene das neue Menü *CriterEUS*. Die Steuerung der Funktionen erfolgt über das Menü *CriterEUS* (Abb. 1).

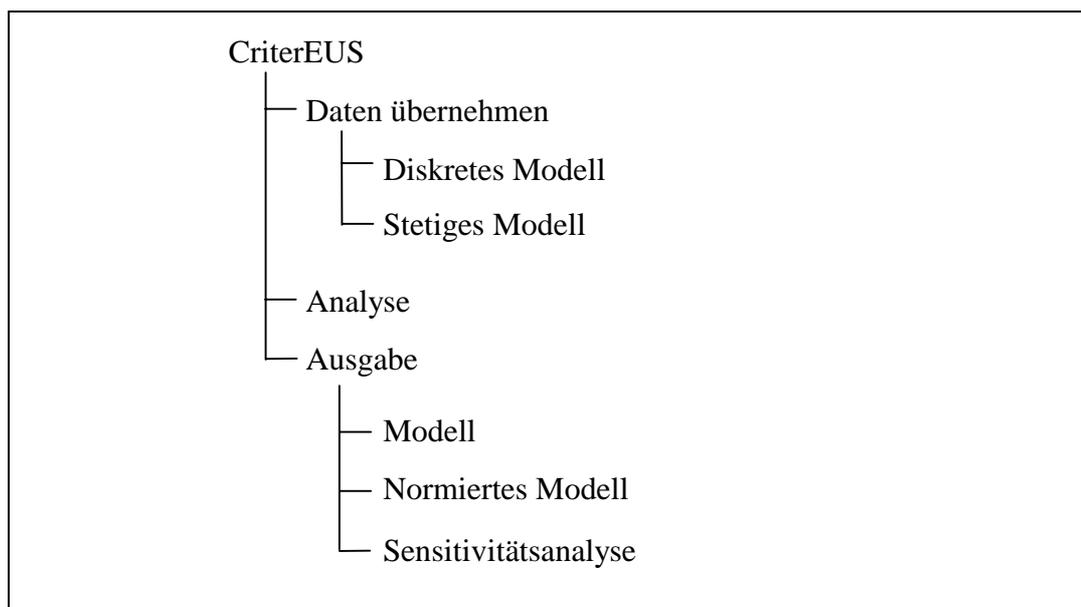


Abb. 1: Menüstruktur von CriterEUS

---

<sup>1</sup> Die Datei „SOLVER.XLA“ ist in der Regel in dem Verzeichnis ..\Excel\Makro\Solver\ abgelegt.

### 3 Modellierung multikriterieller Entscheidungssituationen

#### 3.1 Theoretische Grundlagen

##### 3.1.1 Konzeptioneller Rahmen

Entscheidungen gehören zu den wichtigsten betrieblichen Aktivitäten.<sup>1</sup> Sie werden unter Berücksichtigung aktueller und denkbarer, zukünftiger Umweltzustände getroffen, um die Bedingungen zur Verfolgung der gesetzten Unternehmensziele zu schaffen.<sup>2</sup>

Der *Wahlakt*, eine Alternative aus einer Menge verfügbarer Maßnahmen zu selektieren, ist Bestandteil eines Entscheidungsprozesses. Er beginnt mit dem Erkennen der Notwendigkeit irgendeiner Entscheidung aufgrund einer Zielabweichung, durch die ein Problem sichtbar wird. Durch eine geeignete Modellierung wird dann die üblicherweise linguistisch formulierte Problemstellung formalisiert und mathematisch handhabbar gemacht. Das Ergebnis ist ein Entscheidungsmodell, d. h. „... eine vereinfachte, zweckorientierte Abbildung der Entscheidungssituation“.<sup>3</sup> Dieses Modell wird im nächsten Schritt analysiert, was schließlich zu einem Entscheidungsergebnis führt (vgl. Abb. 2).

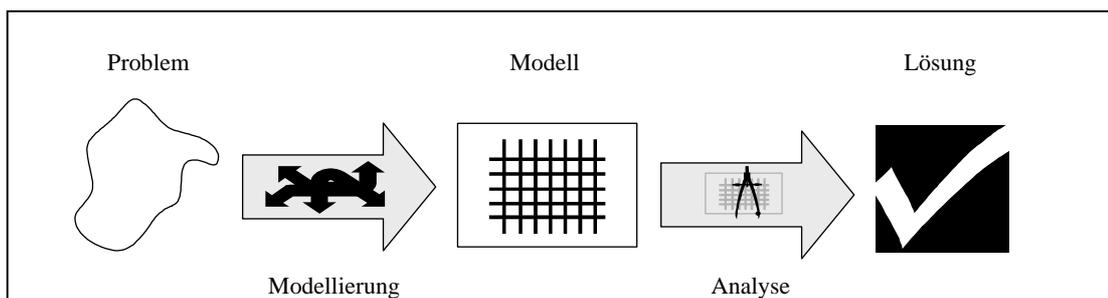


Abb. 2: Entscheidungsprozeß

Im Entscheidungsprozeß nimmt die Modellierung eine wesentliche Stellung ein. Von ihr hängen die Güte des Entscheidungsmodells und somit der Analyseaufwand und die Ergebnisqualität ab.

In einem Entscheidungsmodell bringt der Entscheidungsträger seine Präferenzen bezüglich der von ihm identifizierten Alternativen zum Ausdruck.<sup>4</sup> Verfolgt er bei der Entscheidungs-

<sup>1</sup> Vgl. Zahn, E., Kleinhans, A. (1989), S. 558.

<sup>2</sup> Ebenda.

<sup>3</sup> Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 23.

<sup>4</sup> Vgl. Eisenführ, F., Weber, M. (1986), S. 907.

findung lediglich *ein* Ziel, so ist die Präferenzstruktur *eindimensional*. Bei der Zugrundelegung *mehrerer* Ziele ist sie entsprechend *mehrdimensional*.<sup>1</sup>

Die Alternativen, die durch das Problem determiniert sind und zwischen denen gewählt werden muß, können hinsichtlich der einzelnen Ziele zunächst *ceteris paribus* in eine Besser-Schlechter-Ordnung gebracht werden.<sup>2</sup> Der Grad der Vorziehenswürdigkeit einer Alternativen gegenüber einer anderen bezüglich des betrachteten Zieles wird dann als partielle Präferenz bezeichnet.<sup>3</sup>

Im Falle der Mehrdimensionalität der Präferenzstruktur sind zusätzlich globale Präferenzen zu bestimmen, die die Wichtigkeit der einzelnen Ziele zum Ausdruck bringen sollen. Präferenzen können durch eine Relation oder Funktion abgebildet werden.<sup>4</sup>

### 3.1.2 Aufstellung eines Zielsystems

Die Aufstellung eines Zielsystems, das die Strukturierung und die Formulierung aller entscheidungsrelevanten Ziele umfaßt, ist Voraussetzung für die Präferenzmodellierung.<sup>5</sup> Dabei sind drei Anforderungen zu beachten:<sup>6</sup>

- (1) Sämtliche entscheidungsrelevanten Gesichtspunkte müssen durch das Zielsystem abgedeckt sein (*Vollständigkeit*).
- (2) Es ist darauf zu achten, daß nur so viele Ziele formuliert werden wie nötig (*Minimalität*).
- (3) Jedes Ziel muß durch ein Kriterium (Merkmal, Attribut) repräsentiert werden, das es auf der Basis einer geeigneten Skala erlaubt, mittels mathematischer Operationen behandelt zu werden (*Operationalität*).

Verfolgt der Entscheidungsträger mehrere Ziele, so können jeweils zwischen zwei Elementen eines Zielsystems verschiedene Beziehungen bestehen:<sup>7</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Roy, B. (1990 a), S. 18 f..

<sup>2</sup> Vgl. Bouyssou, D. (1990), S. 59 f.

<sup>3</sup> Vgl. Vincke, P. (1990), S.101-104. Auch als Höhenpräferenz bezeichnet.

<sup>4</sup> Ebenda, Schneeweiß, C. (1991), S. 95 f. Globale Präferenzen werden auch als Artenpräferenzen bezeichnet.

<sup>5</sup> Vgl. Eisenführ, F., Weber, M. (1986), S. 907.

<sup>6</sup> Vgl. Nitzsch, R. von (1992), S. 70 f. und Schneeweiß, C. (1991), S 65 f. Beide fordern auch die Redundanzfreiheit, welche sich jedoch nicht mit der gewöhnlich bestehenden Konkurrenzbeziehung der Ziele zueinander vereinbaren läßt.

<sup>7</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S 58 f.

- (1) Sie sind *komplementär*, wenn mit der Verfolgung des einen Zieles die Verfolgung des anderen unterstützt wird.
- (2) Sie sind *konfliktär (konkurrierend)*, wenn die Verfolgung des einen Zieles die Verfolgung des anderen beeinträchtigt.
- (3) Sie sind *unabhängig (neutral)*, wenn die Verfolgung des einen Zieles keinen Einfluß auf das andere ausübt.

### 3.1.3 Bestimmung der Alternativen

Neben den Zielen sind die Alternativen konsistenter Bestandteil von Entscheidungsmodellen. Alternativen sind Handlungsmöglichkeiten, die zur Lösung eines Entscheidungsproblems vom Entscheidungsträger in Erwägung gezogen werden.<sup>1</sup> In der Regel ist nicht die *Gesamtheit* der Alternativen von Interesse, sondern nur eine durch eine Vorauswahl beschränkte Teilmenge.<sup>2</sup> In dieser *Teilmenge* müssen sämtliche Elemente die gleichen Kriterien aufweisen, jedoch in beliebiger Ausprägung.

Besteht die Menge aus einer kleinen Zahl von Alternativen, die im voraus explizit bekannt sind, so wird von *diskreten* Alternativenräumen gesprochen, sind hingegen alle Alternativen zulässig, die bestimmte, wohldefinierte Nebenbedingungen erfüllen, so handelt es sich um *stetige* Alternativenräume. Letztere umfassen unendlich viele Elemente.<sup>3</sup>

Die Alternativenbestimmung ist häufig ein interdependenter Prozeß. Eine Veränderung des Zielsystems ruft eine Änderung der Menge der Alternativen hervor und umgekehrt.<sup>4</sup>

### 3.1.4 Bewertung von Alternativen und Zielen

#### 3.1.4.1 Partielle Präferenzen

Nachdem die Teilmenge der relevanten Alternativen bestimmt sind, müssen die Alternativen bezüglich der in Kriterien ausgedrückten operationalisierten Ziele bewertet werden. Dies geschieht zunächst intra-attributiv, d. h. ohne Beachtung der jeweils übrigen Merkmale. Durch diese Art der Bewertung werden die Alternativen in eine Beziehung zueinander gebracht. Dieser Vorgang wird als *Messen* bezeichnet.<sup>5</sup> Die Beurteilung der Meßergebnisse und deren Wei-

---

<sup>1</sup> Vgl. Bouyssou, D. (1990), S. 59 f.

<sup>2</sup> Vgl. Grob, H. L. (1985), S. 150 f.

<sup>3</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 25.

<sup>4</sup> Vgl. Belton, V., Vickers, S. (1990), S. 320-329.

<sup>5</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 11.

terverarbeitung sind von der Qualität des jeweiligen Skalenniveaus der Messung abhängig.<sup>1</sup> Allgemein werden die folgenden Skalentypen unterschieden:<sup>2</sup>

Skalenniveau	Informations- gehalt	Beispiel	mögliche mathematische Operationen
Nominalskala	-	Matrikelnummer	Zählung
Ordinalskala	Ordnung	Schulnoten	Medianermittlung
Intervallskala	Ordnung Abstand	°C-Skala	Addition Subtraktion
Ratioskala	Ordnung Abstand Nullpunkt	Gewicht	Multiplikation Division
Absolutskala	Identität	Wahrscheinlichkeiten	jede mathematische Operation

Abb. 3: Meßskalen und ihre Eigenschaften

Auf welchem Skalenniveau die Bewertung der relevanten Alternativen durchgeführt wird, hängt vom Charakter des jeweiligen Kriteriums ab.<sup>3</sup> Sind die dazugehörigen partiellen Präferenzen durch eine Wertfunktion beschrieben, so befinden sich die ermittelten Werte auf kardinalem Skalenniveau.<sup>4</sup> Häufig ist mit dem betrachteten Kriterium jedoch eine (subjektive) Einschätzung durch den Entscheidungsträger verbunden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß es einem Menschen im allgemeinen nur möglich ist, die Alternativen im Sinne einer Größer-, Gleich- oder Kleiner-Relation anzuordnen, also auf höchstens ordinalem Meßniveau Aussagen zu machen.<sup>5</sup>

### 3.1.4.2 Skalentransformation

Um die Kriterien miteinander vergleichen zu können, wird von einigen Problemlösungsverfahren gefordert, daß sich die Ausprägungen der Alternativen bezüglich der Kriterien auf einem einheitlichen Skalenniveau bei gleichen Skalengrenzen befinden.<sup>6</sup> Um dies zu gewährleisten, können Normierungsverfahren verwendet werden. Mit ihrer Hilfe werden die Skalen entsprechend transformiert. Folgende Transformationen sind denkbar: <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Dyckhoff, H. (1986), S. 850-854.

<sup>2</sup> Vgl. Weber, K. (1993), S. 9 f. und Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 11 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Nijkamp, P., Voogd, H. (1985), S. 64 ff.

<sup>4</sup> Zu Nutzenfunktionen auf kardinalem Skalenniveau vgl. Dyer, J. S., Sarin, R. K. (1979), S. 810-822.

<sup>5</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 14.

<sup>6</sup> Vgl. Dyckhoff, H. (1986), S. 851.

<sup>7</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 38 ff.

a. *Lineare Skalen-Transformation.*

Das Ergebnis einer linearen Skalen-Transformation ist abhängig vom Optimum einer Wertfunktion  $v_j(a_i) = r_{ij}$ , wobei  $r_{ij}$  die Ausprägung der  $i$ -ten Alternative im  $j$ -ten Kriterium ist. Wächst die partielle Präferenz monoton mit den Merkmalsausprägungen und ist sie positiv numerisch, dann lautet die zu  $r_{ij}$  gehörige linear-normierte Ausprägung ( $x_{ij}$ )

$$x_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_j^{\max}} \quad \text{mit } r_j^{\max} = \max(v_j(a_i)).$$

Ist das betrachtete Kriterium zu minimieren, so gilt für die Normierung

$$x_{ij} = \frac{r_j^{\min}}{r_{ij}}$$

$x_{ij}$  liegt in beiden Fällen nach der Normierung zwischen 0 und 1. Je näher  $x_{ij}$  an 1 ist, desto günstiger ist die Alternative  $a_i$  bezüglich des Kriteriums  $j$  zu beurteilen. Durch die Normierung bleiben die relativen Stärken, d. h. die bestehenden Verhältnisse zwischen den Ausprägungen erhalten. Im Gegensatz dazu verändern sich bei der Anwendung des folgenden Spezialfalls der linearen Transformation die Proportionen. Soll nämlich die am wenigsten präferierte Ausprägung stets den Wert 0 und die am stärksten präferierte den Wert 1 haben, während die anderen (normierten) Ausprägungen sich irgendwo dazwischen befinden, so ist ein zu maximierendes bzw. zu minimierendes Attribut gemäß

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - r_j^{\min}}{r_j^{\max} - r_j^{\min}} \quad \text{bzw.} \quad x_{ij} = \frac{r_j^{\max} - r_{ij}}{r_j^{\max} - r_j^{\min}}$$

zu normieren.

Aufgrund der inhaltlichen Unterschiede zwischen beiden Formen der linearen Transformation soll hier der erste Typ als *relativ-*, der zweite als *absolut-lineare* Transformation bezeichnet werden.

b. *Vektor-Normierung.*

Bei der Vektor-Normierung errechnen sich die normierten Zielerreichungskoeffizienten als

$$x_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (r_{kj})^2}}$$

Dies entspricht einer Division der Spaltenvektoren durch ihre euklidische Norm und impliziert für alle die gleiche euklidische Länge:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2} = 1$$

Die Vektor-Norm hat den Vorteil der Dimensionslosigkeit über alle Kriterien, wodurch der Vergleich zwischen den Attributen erleichtert wird. Dennoch ist ein direkter Vergleich zwischen ihnen mit Vorsicht vorzunehmen, da die Skalenweiten im allgemeinen in allen Attributen unterschiedlich sind.<sup>1</sup>

Es ist zu beachten, daß sich mit jedem Übergang auf ein anderes Niveau der Informationsgehalt der Beziehungen zwischen den Ausprägungen verändert. Unproblematisch ist dabei, auf Skalen niedrigerer Niveaus zu verdichten. Umgekehrt jedoch ist darauf zu achten, daß aus vorhandenen Daten nicht etwas herausgelesen wird, was sie überhaupt nicht vertreten.<sup>2</sup>

### 3.1.4.3 Globale Präferenzen

Neben der merkmalspezifischen Bewertung der Alternativen ist es bei mehrdimensionalen Entscheidungssituationen erforderlich, Präferenzen bezüglich der Ziele zu formulieren. Dabei sind grundsätzlich drei Möglichkeiten des Einbezugs von Präferenzinformationen zu unterscheiden.<sup>3</sup>

#### (1) *Direkte Auswahl einer Alternative*

Diese Art der Präferenzbildung besteht aus einer auf das Globalziel ausgerichteten Selektion derjenigen Alternative, die dem Entscheidungsträger intuitiv am günstigsten erscheint.

#### (2) *Formulierung von Anspruchsniveaus*

Ist das Zielsystem vollständig bekannt, können diejenigen Alternativen von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden, die bestimmten vom Entscheidungsträger fest vorgegebenen Anspruchsniveaus der Einzelziele nicht genügen. Mit der Höhe der Anspruchsniveaus wird indirekt die Bedeutung des jeweiligen Einzelzieles ausgedrückt.

#### (3) *Zielgewichtung*

Hier mißt der Entscheidungsträger gemäß seiner Einschätzung bezüglich ihrer Bedeutung den Kriterien Gewichtungen zu. Das Verhältnis dieser Gewichtungen zueinander ent-

---

<sup>1</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 38 ff.

<sup>2</sup> Vgl. Vansnick, J.-C. (1990), S. 99.

<sup>3</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S. 113-116. Schneeweiß führt die Skalierung der einzelnen Zielattribute als weitere Möglichkeit auf. Jedoch wird sie für die Nutzung der weiter unten vorgestellten multikriteriellen Methoden nicht benötigt.

spricht Substitutionsraten, die angeben, zu welchem Grad der Entscheidungsträger gewillt ist, von der Verfolgung eines Zieles zu Gunsten eines anderen abzusehen.

## 3.2 Diskretes Modell

### 3.2.1 Definition

Diskrete Entscheidungssituationen liegen bei Problemen mit einer begrenzten, häufig kleinen Zahl an Handlungsalternativen vor. Dies ist zum Beispiel der Fall bei der Wahl einer Investitionsalternative. Jede Alternative weist dabei die gleichen Merkmale auf. Allerdings sind die Ausprägungen unterschiedlich. Derartige Entscheidungsprobleme lassen sich in zweidimensionalen Entscheidungsmatrizen abbilden.<sup>1</sup>

### 3.2.2 Modellanforderungen in CriterEUS

Um Entscheidungsmatrizen unter CriterEUS bearbeiten zu können, müssen sie folgenden Modellanforderungen genügen:

- (1) Das Modell muß in der Tabelle zusammenhängend formuliert sein.
- (2) Die erste Zeile des Modells enthält die Zielbezeichnungen.
- (3) Durch die folgenden Zeilen werden die Alternativenvektoren abgebildet. Ihre Dimension wird durch ihre Bezeichnung und die Anzahl der Kriterien festgelegt.
- (4) In der vorletzten Zeile des Tabellenmodells werden die globalen Präferenzen fixiert. Die Art der globalen Präferenzen wird durch ein Schlüsselwort in der Kopfspalte bestimmt (Gewichtung / Niveau)<sup>2</sup>.
- (5) Mit der letzten Zeile wird festgelegt, ob das jeweilige Kriterium zu maximieren (Max) oder zu minimieren (Min) ist. Diese Zeile wird durch das Schlüsselwort Optimum in der Kopfspalte gekennzeichnet.
- (6) Sämtliche Präferenzen müssen positive, reellwertige Zahlen oder Null sein.

Ein Beispiel für ein korrekt modelliertes diskretes Problem in CriterEUS ist in Abb. 4 dargestellt.

---

<sup>1</sup> Vgl. Tversky, A. (1972), S. 285.

<sup>2</sup> Unveränderbare Schlüsselworte sind unterstrichen. Sie dürfen ausschließlich zur Kennzeichnung der dafür vorgesehenen Bereiche benutzt werden.

	Intensität [ME/ZE]	Ausfälle/ZE	Verbrauch [kW/ZE]	Preis	Sicherheit
Maschine 1	8,000	0,020	127,000	77,000	6,000
Maschine 2	5,000	0,030	96,000	54,000	7,000
Maschine 3	9,000	0,050	118,000	79,000	4,000
Maschine 4	3,000	0,020	67,000	45,000	9,000
Maschine 5	7,000	0,010	102,000	67,000	5,000
Gewichtung	8,000	5,000	2,000	6,000	4,000
Optimum	Max	Min	Min	Min	Max

Abb. 4: Darstellung eines diskreten Modells

### 3.2.3 Modellübernahme in CraterEUS

Um eine Entscheidungsmatrix in CraterEUS zu bearbeiten, muß diese zunächst auf dem entsprechenden Excel-Tabellenblatt so markiert werden, daß die Markierung das Modell gerade einschließt.<sup>1</sup> Über den Menüpunkt *CraterEUS/Daten übernehmen/Diskretes Modell* wird der markierte Bereich zum aktiven Objekt. Eine Ausgabe des so übernommenen Modells in vereinheitlichter Form erfolgt auf einem zusätzlichen Tabellenblatt mit dem Namen „Modell diskret“ (vgl. Abb. 4), sofern der Menüpunkt *CraterEUS/Ausgabe/Modell* mit einem Haken versehen, also aktiv ist. Zu dem Tabellenmodell wird dann ein Liniendiagramm über alle Ausprägungen (vgl. Abb. 5) und - im Falle einer Gewichtung der Ziele - ein Säulendiagramm über letztere generiert (vgl. Abb. 6). Stellt CraterEUS bei der Übernahme des Modells einen Formfehler fest, erscheint eine Fehlermeldung. Nach der Bestätigung dieser Meldung zeigt die aktive Zelle des Tabellenblatts die Fehlerquelle an.

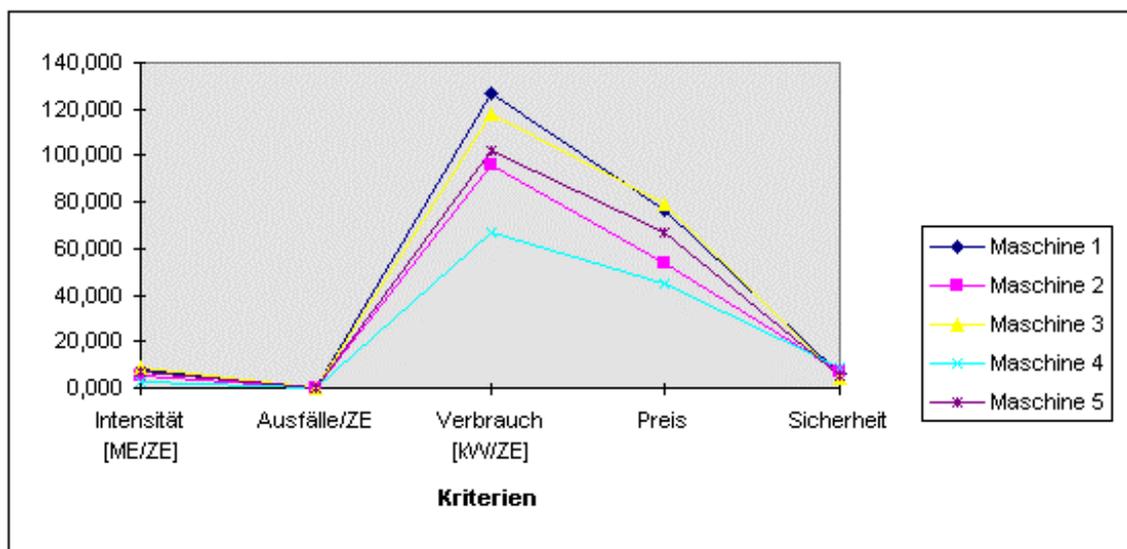


Abb. 5: Liniendiagramm zu einem diskreten Problem

<sup>1</sup> Zur Funktionsweise von Microsoft Excel 5.0 vgl. Brosius, G. (1994).

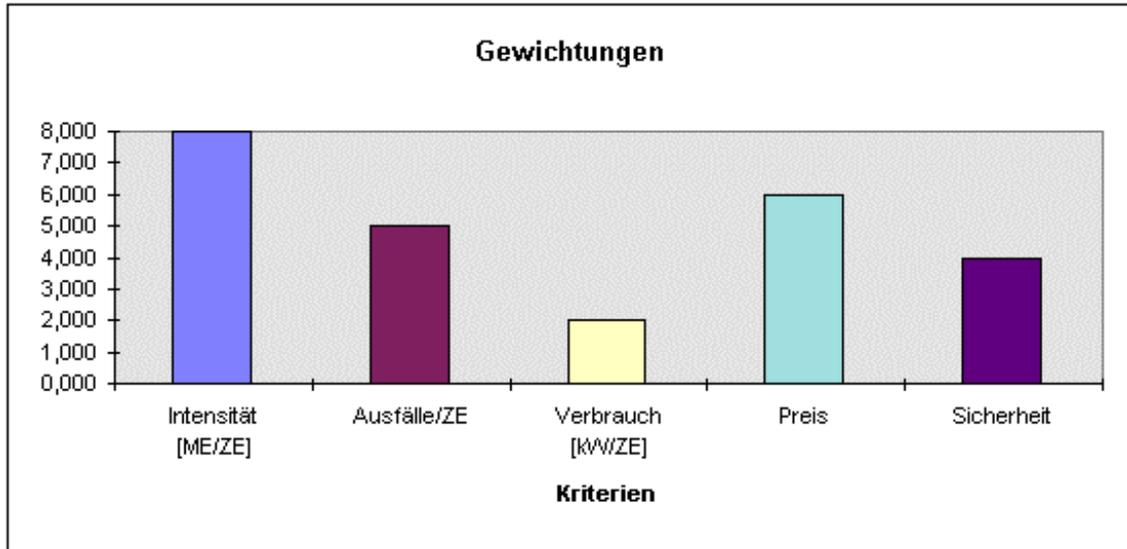


Abb. 6: Säulendiagramm zu den Gewichtungen der Ziele

Erfolgt bei der vereinheitlichten Modelldarstellung ein Doppelklick mit der Maus in ein Feld mit einer Kriterienbezeichnung, die durch einen roten Schriftzug gekennzeichnet sind, so erhält der Benutzer eine grafische Darstellung über die Anordnung der Alternativen bezüglich des betrachteten Kriteriums (Abb. 7).

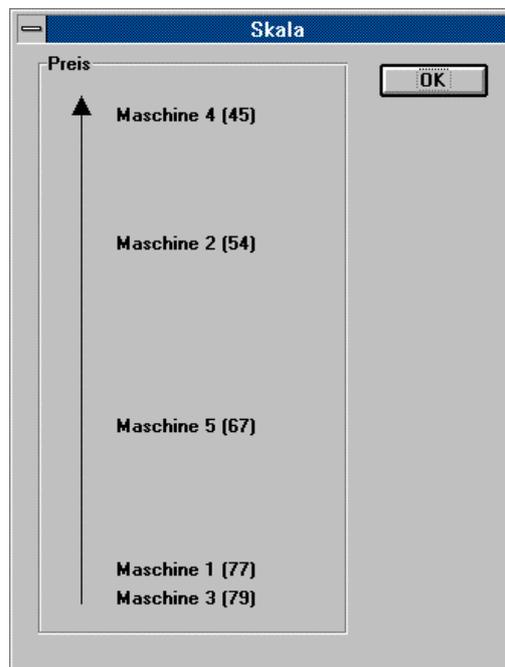


Abb. 7: Dialogfeld mit graphischer Darstellung der Anordnung der Alternativen bezüglich eines Kriteriums

Änderungen im Modell können direkt in der Tabelle vorgenommen werden. Neue Daten werden dabei unmittelbar übernommen, jedoch erst bei Aufruf der noch zu erörternden Analysefunktion auf Konsistenz überprüft. Um jedoch ganze Modellelemente (Alternativen oder Kri-

terien) zu löschen oder hinzuzufügen, muß ein neues Modell erstellt werden. Dies kann jedoch einfach durch Erweitern der Tabelle mit anschließendem Aufruf von *CriterEUS/Daten übernehmen/Diskretes Modell* geschehen.<sup>1</sup>

### 3.3 Stetiges Modell

#### 3.3.1 Definition

Ein stetiges Modell wird zur Analyse von Problemen mit unendlichem Lösungsraum benötigt, bei denen mehrere, meist konfliktäre Ziele verfolgt werden. Ein klassisches Beispiel der Betriebswirtschaftslehre ist die Produktionsprogrammplanung. Im allgemeinen liegt ein System von zu optimierenden Zielfunktionen und den Lösungsraum beschränkenden Nebenbedingungen vor. Dieses läßt sich durch ein Tabellenmodell abbilden.

#### 3.3.2 Modellanforderungen in CriterEUS

Analog zur Modellierung diskreter Probleme müssen auch hier bestimmte Anforderungen berücksichtigt werden, damit das Ergebnis von CriterEUS akzeptiert wird:

- (1) Das Modell muß in der Tabelle zusammenhängend formuliert sein.
- (2) Die erste Zeile des Modells enthält in dieser Reihenfolge die Bezeichnungen der Zielvariablen und die Schlüsselworte Operator und RS (RS steht für „Rechte Seite“).
- (3) In den folgenden Zeilen sind erst die Zielfunktionen und dann die Nebenbedingungen des Problems abgebildet. Dabei stehen in den Zeilenköpfen die Bezeichnungen der Zielfunktionen bzw. die Schlüsselworte NB\*. Der Stern (\*) steht als Platzhalter für die fortlaufende Zahl der Nebenbedingungen.
- (4) Die Koeffizienten der Variablen bezüglich der Zielfunktionen und Nebenbedingungen müssen Zahlen sein.
- (5) In der Spalte der Operatoren darf nur  $\geq$ ,  $=$ ,  $\leq$  oder nichts stehen.
- (6) Die Tabellenzellen in den Zeilen von Zielfunktionen können in der Spalte RS Zahlen oder die Schlüsselworte Max oder Min enthalten. Ist die rechte Seite (RS) der Zielfunktionen mit diesen Schlüsselworten belegt, so ist die entsprechende Zelle der Spalte Operator leer. Die Zellen der Nebenbedingungen müssen in der Spalte RS mit Zahlen gefüllt sein.
- (7) Die abschließende Zeile des Modells enthält eventuelle Ganzzahligkeitsbedingungen. Angeführt mit dem Schlüsselwort GZB werden in den zu den Alternativen gehörenden

---

<sup>1</sup> Siehe oben.

Zellen dieser Zeile die Ganzzahligkeitsbedingungen mit gz (ganzzahlig) bzw. ngz (nicht-ganzzahlig) abgebildet.

Ein Beispiel für ein im Sinne von CriterEUS korrekt modelliertes stetiges Problem ist in Abb. 9 dargestellt.

### 3.3.3 Modellübernahme in CriterEUS

Das markierte Modell kann, wenn diese Anforderungen erfüllt sind, in das System übernommen werden. Analog zu einem diskreten Modell kann dies über das Menü *CriterEUS/Daten übernehmen/Stetiges Modell* bewerkstelligt werden. Falls Punkt (7) der Anforderungen nicht erfüllt wurde, fragt das System mittels eines Dialogfeldes nach einer eventuellen Ganzzahligkeitsbedingung für die Entscheidungsvariablen (Abb. 8).



Abb. 8: Dialogfeld zur Abfrage von Ganzzahligkeitsbedingungen

Ist der Menüpunkt *CriterEUS/Ausgabe/Modell* mit einem Haken versehen, erscheint auf einem eigenen Tabellenblatt mit dem Namen „Modell\_stetig“ ein vereinheitlichtes Modell (Abb. 9).

	Telefon A	Telefon B	Operator	RS
<b>DB</b>	10,000	6,000		Max
<b>Menge Telefon B</b>	0,000	1,000		Max
<b>Abfall</b>	1,300	2,400		Min
<b>NB1</b>	5,000	3,000	=	200,000
<b>NB2</b>	3,000	3,000	≤	180,000
<b>GZB</b>	gz	gz		

Abb. 9: Darstellung eines stetigen Modells

## 4 Analyse multikriterieller Entscheidungsmodelle

### 4.1 Theoretische Grundlagen

Lösungen zu Entscheidungsproblemen werden mit Hilfe von Methoden erzeugt. Unter Methoden sind hier regelbasierte Verfahren zu verstehen, die durch Anwendung auf ein Entscheidungsmodell sowohl zu Erkenntnissen über das Entscheidungsproblem als auch zu praktischen Ergebnissen führen.<sup>1</sup> So unterschiedlich sich die Entscheidungssituationen gestalten, so unterschiedlich sind auch die Lösungsverfahren.<sup>2</sup> Es gibt also keine universelle Methode, auch wenn in der Praxis die Nutzwertanalyse häufig als solche betrachtet wird.

Dennoch lassen sich Gemeinsamkeiten in vielfältigen Entscheidungssituationen finden, die es erlauben, ihnen adäquate Lösungsverfahren zuzuordnen.<sup>3</sup> Einerseits kann dazu die Informationsstruktur, d. h. die Quantität und die Qualität der Informationen, des zu dem betrachteten Problem erstellten Modells herangezogen werden, andererseits sind Ansprüche des Entscheidungsträgers bezüglich der Qualität des Ergebnisses zu berücksichtigen.

Als systematisierende Merkmale für die Informationsstruktur sind zu unterscheiden:

- (1) die Art des Problems (diskret/stetig),
- (2) das Mindest-Skalenniveau der partiellen Präferenzen,
- (3) die erforderliche Normierung (linear/vektor),
- (4) die Art der globalen Präferenzen, wobei zu berücksichtigen ist, daß die möglichen Ausprägungen, nämlich (a) Gewichtung und (b) Anspruchsniveaus nicht ausschließlich exklusiv verwendet werden, sondern auch zusammen gegeben sein können,
- (5) der Bedarf an zusätzlichen Informationen und
- (6) die Unabhängigkeit der Ziele.

Die Ansprüche bezüglich der Qualität des Ergebnisses einer Analyse lassen sich durch zwei weitere Attribute beschreiben:

- (7) der kompensatorische Charakter, der ausdrückt, ob ein schlechter Wert in einem Merkmal durch einen guten in einem anderen Merkmal ausgeglichen werden kann, und

---

<sup>1</sup> Vgl. Heinrich, L. J., Roithmayr, F. (1986), S. 275.

<sup>2</sup> Vgl. hierzu eine Bibliographie der bis 1983 veröffentlichten Methoden, die 96 Verfahren enthält, in: Despontin, M., Moscarola, J., Spronk, J. (1983).

<sup>3</sup> Vgl. Teghem, J., Delhaye, C., Kunsch, P. L. (1989), S. 1311 f.

(8) die Art der Lösungsmenge (geordnet/ungeordnet).

Auf Basis dieser Merkmale sind anhand der in folgender Abbildung dargestellten Matrix die zur Bearbeitung der jeweiligen Entscheidungssituationen möglichen Methoden zu ermitteln (Abb. 10).

Kriterium	1	2	3	4a	4b	5	6	7	8
Methode	diskret / stetig	Mindestniveau der partiellen Präferenzen	Normierung	Mindestniveau der Gewichtung	Anspruchsniveau	zusätzliche Informationen	Unabhängigkeit der Ziele	kompensatorisch	geordnete Menge
Disjunktives Vorgehen	d	nominal	-	-	J	N	N	J	N
Konjunktives Vorgehen	d	nominal	-	-	J	N	N	N	N
Preis-Leistungs-Modell	d	nominal	-	-	J	J	N	N	N
Lexikographische Methode	d	ordinal	-	ordinal	N	N	N	N	N
Aspektweise Elimination	d	ordinal	-	ordinal	J	N	N	N	N
Nutzwertanalyse	d	ordinal	linear	kardinal	N	N	J	J	J
ELECTRE	d	ordinal	vektor	ordinal	N	J	N	J	N
Lexikogr. Goalprogramming	s	kardinal	-	kardinal	J	J	N	J	N
IMGP	s	kardinal	-	kardinal	J	J	N	J	N

Abb. 10: Matrix der Methoden und ihrer zugeordneten Attribute<sup>3</sup>

## 4.2 Analyse unter CrITEREUS

Ist ein Problem unter Excel anforderungsgerecht abgebildet und in CrITEREUS übernommen worden, wird das vorhandene Informationspotential vom System automatisch identifiziert. Zu dem erstellten Modell werden die möglichen Lösungsverfahren ermittelt und dem Benutzer auf Anforderung über den Menüpunkt *CrITEREUS/Analyse* in einer Dialogmaske angeboten (Abb. 11). Ist der Anwender mit den Vorschlägen nicht zufrieden, kann er andere Ausprägungen der Merkmale des Informationsbedarfs wählen. Hierdurch wird je nach Problemtyp die Nutzung weiterer bzw. anderer Methoden ermöglicht. Aus der Menge der potentiell nutzbaren Verfahren kann der Benutzer durch Markierung die für ihn relevanten Vorgehensweisen aus-

<sup>1</sup> *Elimination Et Choice Translation Reality*

<sup>2</sup> *Interactive Multiple Goal Programming*

<sup>3</sup> Die hier aufgeführten Methoden stellen jeweils unter CrITEREUS implementierte Repräsentanten für ganze Klassen von Problemlösungsverfahren dar und sind in der Literatur anerkannt und viel diskutiert.

wählen. Eventuell notwendig gewordene Änderungen an dem Problemmodell bezüglich des Informationsbedarfs werden nach Verlassen des Dialoges entweder automatisch oder im Dialog mit dem Benutzer umgesetzt, bevor schließlich die selektierten Methoden auf das Modell angewendet werden.

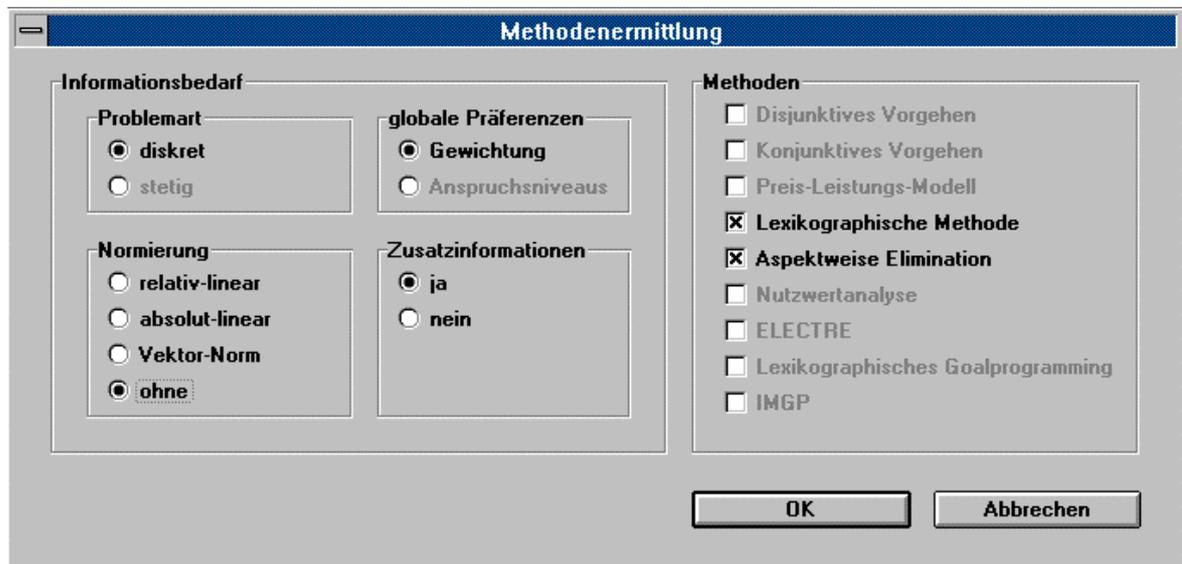


Abb. 11: Dialogfeld zur Ermittlung geeigneter Methoden

Wurde in dem Dialogfeld zur Methodenwahl eine Normierung des Modells gewählt und ist der Menüpunkt *CriterEUS/Ausgabe/Normiertes Modell* mit einem Haken versehen, wird analog zur Ausgabe des vereinheitlichten Modells auch das vereinheitlichte normierte Modell auf einem neuen Tabellenblatt ausgegeben.

Für jede verwendete Methode wird zur Ausgabe der Ergebnisse ebenfalls ein eigenes Tabellenblatt geöffnet. Das Format der Ausgabe ist einheitlich. Sie wird jedoch gegebenenfalls durch zusätzliche methodenindividuelle Darstellungen ergänzt.

Um verfolgen zu können, wie sich die Ergebnisse bei einer Änderung der Entscheidungssituation entwickeln, oder um auszutesten, in welcher Konstellation der Präferenzen sich die besten Ergebnisse erzielen lassen, kann eine Sensitivitätsanalyse durch CriterEUS unterstützt werden. Dazu ist der Menüpunkt *CriterEUS/Ausgabe/Sensitivitätsanalyse* durch einen Mausklick zu aktivieren. Im Gegensatz zur einfachen Ergebnisausgabe werden dann die Resultate nicht vor jeder Berechnungsphase gelöscht, sondern sie werden auf den jeweiligen Ergebnisblättern gesammelt. Sobald der Anwender ein anderes Problem analysieren möchte, schaltet er diese Möglichkeit wieder ab.

### 4.3 Methoden zur Analyse diskreter Probleme

#### 4.3.1 Disjunktives und konjunktives Vorgehen

Die auch als Satisfizierungungsverfahren bekannt gewordenen Methoden des disjunktiven und konjunktiven Vorgehens basieren auf Anspruchsniveaus, die von den Alternativen erfüllt sein müssen. Beim disjunktiven Vorgehen werden diejenigen Alternativen akzeptiert, die mindestens *eine* Bedingung erfüllen, beim konjunktiven Vorgehen diejenigen, die *sämtlichen* Ansprüchen genügen.<sup>1</sup>

Da keine Notwendigkeit zur Normierung der Maßskalen besteht, bleibt der Informationsgehalt der (partiellen) Präferenzen unverändert erhalten.<sup>2</sup> Häufig dient dieses Verfahren der Vorauswahl von Alternativen, die dann mit anderen Methoden näher zu analysieren sind.

	Intensität [ME/ZE]	Ausfälle/ZE	Verbrauch [kW/ZE]	Preis	Sicherheit
<b>Maschine 2</b>	5,000	0,030	96,000	54,000	7,000
<b>Maschine 5</b>	7,000	0,010	102,000	67,000	5,000
<b>Niveau</b>	4,000	0,050	125,000	78,000	4,000
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Min	Max

Abb. 12: Ergebnistabelle des konjunktiven Vorgehens<sup>3</sup>

#### 4.3.2 Preis-Leistungs-Modell

Der Name „Preis-Leistungs-Modell“ wurde gewählt, weil in der Praxis häufig bei der Auswahl von Entscheidungsalternativen unter Berücksichtigung eines multikriteriellen Zielsystems vom Preis-Leistungs-Verhältnis die Rede ist. Mit der Preisplanung ist der monetäre Zielwert einer Alternative gemeint. Bei kurzfristigen Planungen sind hier beispielsweise die Beschaffungskosten anzusetzen, während bei langfristigen Investitionsprojekten der Kreditstand am Ende des Planungshorizonts relevant sind. Die Leistungsplanung enthält eine Gegenüberstellung von Ansprüchen und Leistungen. Hierin spiegeln sich Angebot und Nachfrage nach Qualitätsmerkmalen wider.

<sup>1</sup> Vgl. auch SELECT-Abfrage in relationalen Datenbanksystemen, z. B. : SELECT auto WHERE PS>70 OR Sicherheit=3 (disjunktiv) oder SELECT auto WHERE PS>70 AND Sicherheit=3 (konjunktiv).

<sup>2</sup> Vgl. Grob, H. L. (1989).

<sup>3</sup> Die in Kapitel 3 eingeführten Beispiele werden in diesem Kapitel weitergeführt.

Der Konzeption des Preis-Leistungs-Modells liegen zwei fundamentale Prinzipien zugrunde: Zum einen sind sämtliche monetären Größen in ihren monetären Dimensionen zu erhalten, zum anderen „sollen die nicht-monetären ZIELERTRÄGE nicht in monetäre verwandelt werden.“<sup>1</sup>

Zur Erzeugung der rangersten Alternative sind für sämtliche Leistungskriterien Ansprüche bzw. Mindestansprüche zu formulieren. Diese sind als Gleichungen bzw. Ungleichungen zu formulieren. Die Berücksichtigung von Qualitätsansprüchen läßt sich mit Hilfe von Binärvariablen darstellen.

Die Einhaltung sämtlicher (Mindest-)Ansprüche stellt das Primärziel dar. Dabei ist zunächst zu überprüfen, ob es eine zulässige Lösung gibt. Das „Preisziel“ stellt das Sekundärziel dar, das als Extremalziel zu formulieren ist. Die rangerste Alternative ist dadurch gekennzeichnet, daß aus der Menge der zulässigen Alternativen diejenige ausgewählt wird, die den geringsten „Preis“ (z. B. Kosten pro Monat) aufweist. Das Zielsystem geht von den Annahmen aus, daß eine „Übererfüllung von Mindestansprüchen ... nicht honoriert“<sup>2</sup> wird.

Das Preis-Leistungs-Modell ist unter Verwendung von CriterEUS *interaktiv* zu nutzen. Dabei können die Anspruchsniveaus dynamisch verändert werden.

	Intensität [ME/ZE]	Ausfälle/ZE	Verbrauch [KW/ZE]	Preis	Sicherheit
<b>Maschine 2</b>	5,000	0,030	96,000	54,000	7,000
<b>Niveau</b>	4,000	0,050	125,000	78,000	4,000
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Min	Max

Abb. 13: Ergebnistabelle zum Preis-Leistungs-Modell

### 4.3.3 Lexikographische Methode

Die Vorgehensweise dieser Methode entspricht der Suche eines Begriffs in einem Lexikon, wobei die Kriterien nach ihren Gewichtungen zu sortieren und abzuarbeiten sind. Die Alternativen werden so zunächst hinsichtlich des wichtigsten Merkmals miteinander verglichen. Ist eine Alternative diesbezüglich eindeutig dominant, so stellt sie die gesuchte Lösung dar. Haben mehrere Alternativen den gleichen besten Wert, so erfolgt die Überprüfung für das nächstwichtigste Kriterium.

<sup>1</sup> Grob, H. L. (1989), S. 341.

<sup>2</sup> Grob, H. L. (1989), S. 348.

Die Anwendung der Lexikographischen Methode ist sinnvoll, wenn ein oder zwei besonders wichtige Ziele verfolgt werden, während die anderen weniger bedeutend sind.<sup>1</sup> Zu berücksichtigen ist allerdings, daß hier nicht die gesamte verfügbare Information genutzt wird.<sup>2</sup>

	Intensität [ME/ZE]	Preis	Ausfälle/ZE	Sicherheit	Verbrauch [kW/ZE]
<b>Maschine 3</b>	9,000	79,000	0,050	4,000	118,000
<b>Gewichtung</b>	8,000	6,000	5,000	4,000	2,000
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Max	Min

Abb. 14: Ergebnistabelle der Lexikographischen Methode

#### 4.3.4 Aspektweise Elimination

Die Aspektweise Elimination kann als Kombination des konjunktiven Verfahrens und der Lexikographischen Methode betrachtet werden und übernimmt weitestgehend ihren Charakter.<sup>3</sup> Im Gegensatz zur Lexikographischen Methode ist jedoch der Grad der Nutzung der zur Verfügung gestellten Informationen abhängig von der Ausprägung der Anspruchsniveaus, die durch den Entscheidungsträger festgelegt werden.



Abb. 15: Dialogfeld für Zusatzinformationen für die Aspektweise Elimination

Im Anschluß an die Sortierung der Kriterien nach ihrer Wichtigkeit und der Festlegung von Anspruchsniveaus<sup>4</sup> (Abb. 15) wird - beginnend mit dem wichtigsten Kriterium - die Alternativenmenge A in zwei Teilmengen A' und A'' gespalten. Dabei umfaßt A' die bezüglich des Anspruchsniveaus des betrachteten Kriteriums akzeptierten und A'' die verworfenen Alternativen. Enthält A' nur *ein* Element, so ist es die gesuchte Lösung. Sind *alle* Kriterien abgearbei-

<sup>1</sup> Vgl. Anderson, E. E. (1990), S. 129.

<sup>2</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 50.

<sup>3</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 52.

<sup>4</sup> Hierbei ist es unerheblich, welche Art der globalen Präferenzen zunächst im Modell angegeben wird. Die jeweils andere Art wird durch CrITEREUS erfragt.

tet, so endet der Suchprozeß. In allen anderen Fällen wird der Vorgang mit der ermittelten Teilmenge und dem folgenden Kriterium wiederholt.

In der Ergebnistabelle sind hier, genauso wie bei der Lexikographischen Methode, die Kriterien ihrer Wichtigkeit nach in absteigender Sortierung abgebildet (Abb. 16).

	Intensität [ME/ZE]	Preis	Ausfälle/ZE	Sicherheit	Verbrauch [kW/ZE]
<b>Maschine 2</b>	5,000	54,000	0,030	7,000	96,000
<b>Maschine 5</b>	7,000	67,000	0,010	5,000	102,000
<b>Niveau</b>	4,000	75,000	0,050	4,000	125,000
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Max	Min

Abb. 16: Ergebnistabelle der Aspektweisen Elimination

#### 4.3.5 Nutzwertanalyse

Dieser traditionelle, in der Literatur viel diskutierte und in der Praxis häufig verwendete Ansatz ist als vielseitiges, flexibles und leicht nachvollziehbares Instrument zur Lösung von Problemen mit mehrfacher Zielsetzung bekannt.<sup>1</sup>

Bei der Nutzwertanalyse werden zunächst die globalen Präferenzen in Form von Gewichten so bestimmt, daß sie sich zu eins addieren. Bezüglich jedes Kriteriums werden dann die Alternativen mit linear-normierten Ausprägungen bewertet. Für jede Alternative werden die partiellen Präferenzen mit den globalen multipliziert; der individuelle Nutzwert ergibt sich dann aus der Summe dieser Produkte. Das Ergebnis ist eine geordnete Menge der Alternativen bezüglich des Nutzens.

Diese Ordnung findet sich dann auch in der Ergebnistabelle von CrITEREUS wieder (vgl. Abb. 17). Zusätzlich werden hier die Nutzwerte angegeben. Sie quantifizieren die Unterschiede zwischen den Alternativen und sollen dem Entscheidungsträger einen Eindruck von der Vorziehwürdigkeit vermitteln.

---

<sup>1</sup> Vgl. Dreyer, A. (1974), S. 255 f.

	Intensität [ME/ZE]	Ausfälle/ZE	Verbrauch [kW/ZE]	Preis	Sicherheit	Nutzwert
<b>Maschine 5</b>	7,000	0,010	102,000	67,000	5,000	<b>0,75152081</b>
<b>Maschine 4</b>	3,000	0,020	67,000	45,000	9,000	<b>0,68666667</b>
<b>Maschine 1</b>	8,000	0,020	127,000	77,000	6,000	<b>0,67357558</b>
<b>Maschine 2</b>	5,000	0,030	96,000	54,000	7,000	<b>0,62472218</b>
<b>Maschine 3</b>	9,000	0,050	118,000	79,000	4,000	<b>0,61324364</b>
<b>Gewichtung</b>	8,000	5,000	2,000	6,000	4,000	
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Min	Max	

Abb. 17: Ergebnistabelle der Nutzwertanalyse

Über die Darstellung der Ergebnistabelle hinaus gibt CriterEUS ein Liniendiagramm mit den gewichteten, normierten partiellen Präferenzen aus, anhand dessen der „Vorteil“ von Alternativen bezüglich der einzelnen Kriterien visualisiert wird (Abb. 18).

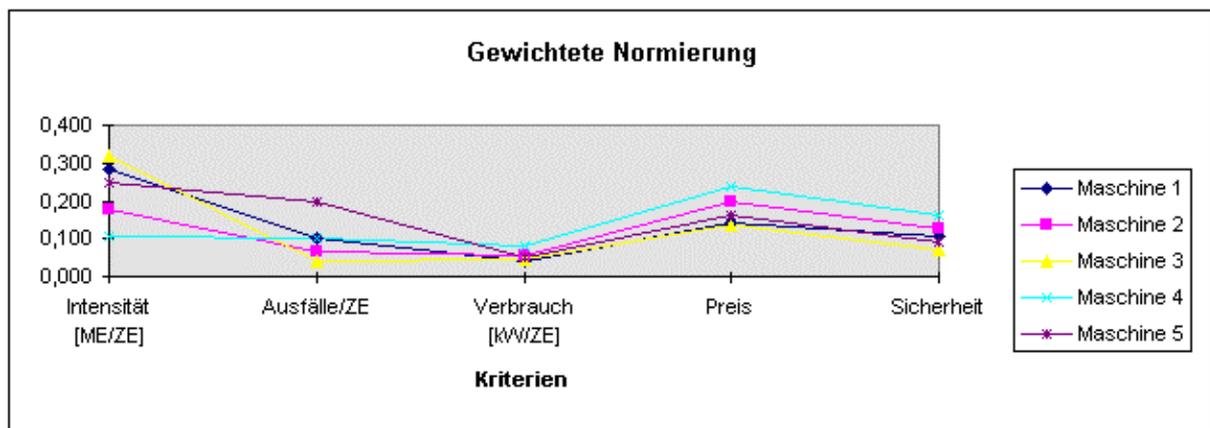


Abb. 18: Liniendiagramm des gewichtet-normierten Problemmodells

Auch wenn die Nutzwertanalyse den Eindruck einer mehr oder weniger universellen Methode vermittelt, ist sie mit einigen Mängeln behaftet.<sup>1</sup> Das größte Problem ist in der Voraussetzung normierter und somit kardinaler partieller Präferenzen zu sehen. Die so in den Teilnutzen enthaltenen Verzerrungen werden additiv zu einem Gesamtnutzen zusammengeführt, der schließlich sämtliche Verfälschungen in sich vereint.<sup>2</sup> Die Forderung nach der Unabhängigkeit der Kriterien soll zwar weitere Verzerrungen ausschließen, ist aber realitätsfern, da gerade konkurrierende Ziele Gegenstand der Analyse sind.<sup>3</sup> Insgesamt ist Nutzwertanalyse als theoretisch unbefriedigend anzusehen.

<sup>1</sup> Vgl. Grob, H. L. (1989), S. 337.

<sup>2</sup> Ebenda, S. 337 f.

<sup>3</sup> Ebenda, S. 338.



- „doppeltes“ Outranking:  
 $a_j \succ a'$  und  $a' \succ_j a$   $a$  verhält sich indifferent zu  $a'$
- kein Outranking:  
 $a$  nicht vergleichbar mit  $a'$

Zur Analyse müssen neben den gewählten Kriterien und den Alternativen partielle Präferenzen in Vektornorm und die globalen Präferenzen als Gewichte vorliegen. Darüber hinaus müssen Angaben über den Konkordanz- und den Diskordanz-Schwellenwert gemacht werden. CriterionEUS bietet neben der Möglichkeit, die Schwellenwerte manuell einzugeben, auch eine automatische Generierung.<sup>1</sup>

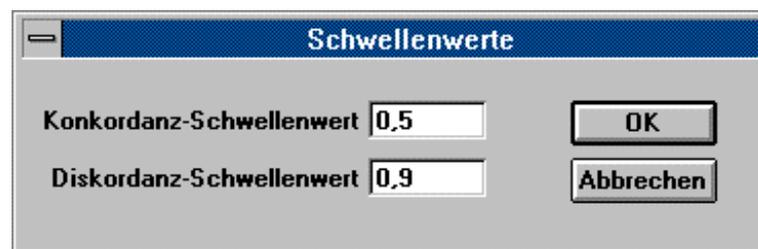


Abb. 19: Dialogfeld für Zusatzinformationen für die Methode ELECTRE

Der Algorithmus von ELECTRE vollzieht sich in acht Schritten.<sup>2</sup> Das Ergebnis ist eine Liste der Alternativen, die nicht durch andere im Sinne des Verfahrens dominiert sind (Abb. 20). Die Beziehungen lassen sich durch einen gerichteten Graphen veranschaulichen (Abb. 21)<sup>3</sup>. Eine Kante symbolisiert eine Dominanz der Alternative am Ursprung über die Alternative an der Spitze. Sind Alternativenpaare nicht durch einen Pfeil verbunden, so kann aufgrund der Ausgangsdaten keine Aussage über eine Dominanz gemacht werden, sie sind unvergleichbar.

<b>Konkordanzschwelle:</b> 0,5	<b>Intensität</b> [ME/ZE]	<b>Ausfälle/ZE</b>	<b>Verbrauch</b> [kW/ZE]	<b>Preis</b>	<b>Sicherheit</b>
<b>Diskordanzschwelle:</b> 0,9					
<b>Maschine 5</b>	7,000	0,010	102,000	67,000	5,000
<b>Gewichtung</b>	8,000	5,000	2,000	6,000	4,000
<b>Optimum</b>	Max	Min	Min	Min	Max

Abb. 20: Ergebnistabelle der Methode ELECTRE

---

<sup>1</sup> Die automatisch entwickelten Schwellenwerte sind Nebenprodukte des ELECTRE-Algorithmus und sind arithmetische Mittel über die Konkordanz- bzw. Diskordanz-Indizes (vgl. Anhang).

<sup>2</sup> Eine ausführliche Beschreibung des Algorithmus auf Basis von Roy, B. (1980), S. 471 ff. und Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 207-220 befindet sich im Anhang.

<sup>3</sup> In CriterionEUS läßt sich der Graph durch einen doppelten Mausklick auf das Feld, das die Schwellenwerte in roter Schrift enthält, aktivieren. Der Graph ist nur für Probleme mit höchstens zehn Alternativen verfügbar.

Das Ergebnis dieser Methode hängt sehr stark von der Wahl der Schwellenwerte ab. Da es nicht in einem unmittelbar erkennbaren funktionalen Zusammenhang mit diesen Werten steht, besteht die Notwendigkeit einer Sensibilisierung des Entscheidungsträgers für deren Wirkung. Es ist daher zu überlegen, durch Anwendung einer Sensitivitätsanalyse auf Probleme, deren Lösungen bekannt sind, den zielgerichteten Einsatz der Schwellenwerte zu trainieren.

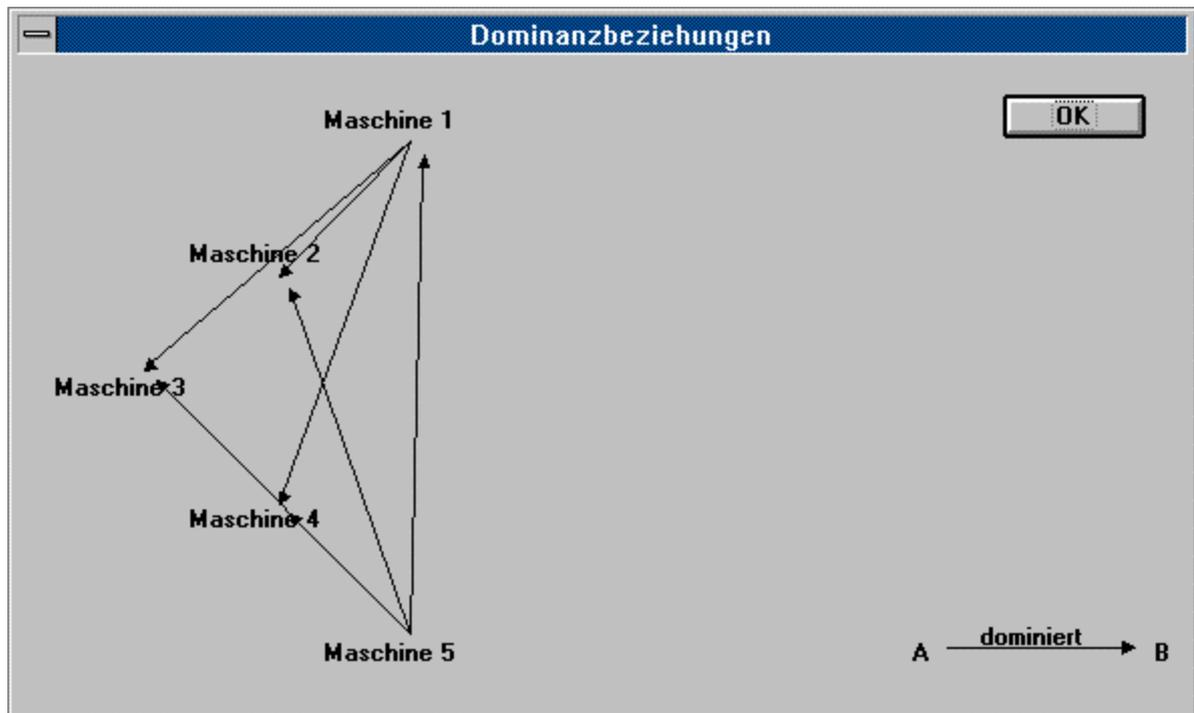


Abb. 21: Darstellung der Dominanzbeziehungen zwischen den Alternativen

#### 4.4 Methoden zur Analyse stetiger Probleme

##### 4.4.1 Überblick

Zur Ermittlung von Lösungen mit mehreren quantifizierbaren, meist konfliktären Zielen unter gleichzeitiger Berücksichtigung vorgegebener Restriktionen sind sogenannte multiobjektive Methoden einzusetzen, durch die aus den unendlichen Alternativenmengen mittels mathematischer Programmierung eine Lösung *berechnet* wird.<sup>1</sup>

Unter der Annahme, daß alle Ziele zu maximieren sind, gilt für ein stetiges Mehrzielproblem<sup>2</sup>:

$$z(a) = ( z_1(a), z_2(a), \dots, z_n(a) ) \rightarrow \max,$$

<sup>1</sup> Vgl. Korhonen, P., Moskowitz, H., Wallenius, J. (1992), S. 363 f.

<sup>2</sup> Zu minimierende Ziele können gemäß  $\min z(x) = -\max ( -z ( x ) )$  transformiert werden.

wobei  $z(a) \in \mathbb{R}^n$  und  $z_j$  mit  $1 \leq j \leq n$  reellwertige Wertfunktionen (Zielfunktionen) sind, die die partiellen Präferenzen des Entscheidungsträgers wiedergeben.  $a$  ist ein Element der Menge aller zulässigen Lösungen  $A \subseteq \mathbb{R}^n$ . Wegen der Form dieser Vorschrift werden in der Literatur diese Probleme als Vektormaximumprobleme bezeichnet.<sup>1</sup> Die bekannten Verfahren aus diesem Bereich lassen sich hinsichtlich des Zeitpunktes, zu dem der Entscheidungsträger seine globalen Präferenzen zur Verfügung stellt, klassifizieren. Läßt er die Informationen erst *nach* der Anwendung des Zielfunktionen-Systems in den Prozeß einfließen, so spricht man von *a posteriori* Präferenzen. Sie entsprechen einer Selektion aus der Menge der bestimmten Lösungen, wobei diese dem Entscheidungsträger vollständig bekannt sind. Gibt der Entscheidungsträger dagegen die Präferenzinformationen in Form von Anspruchsniveaus an, so ist dies entweder *vorab (a priori)* oder *während* des Ablaufs des Verfahrens (*progressiv*) möglich.<sup>2</sup>

#### 4.4.2 Lexikographisches Goalprogramming

Beim Goalprogramming werden für jedes Ziel vom Entscheidungsträger fest vorgegebene Zahlenwerte (Anspruchsniveaus) angestrebt. Im allgemeinen jedoch können nicht alle Ziele gleichzeitig optimiert werden. Der Entscheidungsträger muß einen Kompromiß bezüglich der Erfüllung der Ziele eingehen und Abweichungen von seinen Idealwerten akzeptieren. Die Verfahren des Goalprogramming versuchen diese Abweichungen zu minimieren.<sup>3</sup>

Beim Lexikographischen Goalprogramming werden die Anspruchsniveaus *a priori* durch den Entscheidungsträger angegeben. Dies ist in CriterEUS entweder bei der Erstellung des Modells berücksichtigt worden (vgl. Kap. 3.3) oder wird interaktiv mittels Dialogfelder (Abb. 22) ermittelt.

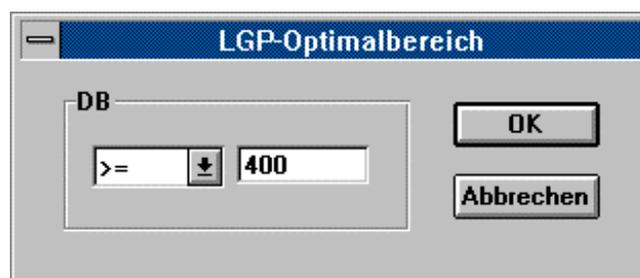


Abb. 22: Dialogfeld zu den Anspruchsniveaus

Darüber hinaus muß die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien festgelegt werden (Abb. 23). Dadurch wird die Reihenfolge der Abarbeitung der Ziele festgelegt.

<sup>1</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S. 302 f.

<sup>2</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 30 f.

<sup>3</sup> Vgl. ebenda, S. 121 f.

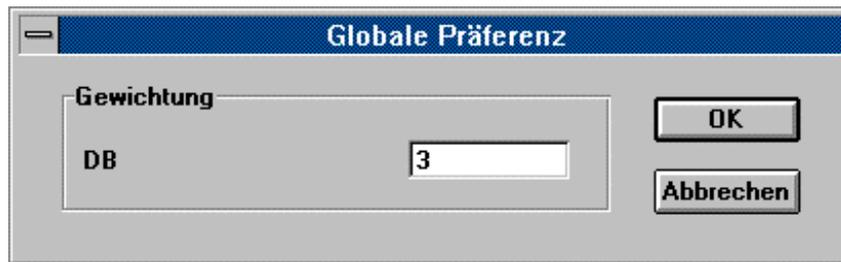


Abb. 23: Dialogfeld zur Eingabe der Gewichtung der Zielfunktionen

Durch die wichtigste Zielfunktion wird der Alternativenraum zunächst auf diejenigen Elemente beschränkt, mit denen die geringste Abweichung von dem betrachteten Ziel verbunden ist. Läßt sich so innerhalb eines Kriteriums noch keine Alternative exklusiv auszeichnen, so werden weitere Zielfunktionen ihrer Wichtigkeit nach herangezogen. Dieser Ablauf entspricht der lexikographischen Vorgehensweise. Häufig können, wie oben erwähnt, nicht alle Ziele gleichzeitig erfüllt werden. Es müssen bezüglich einzelner Kriterien Kompromisse eingegangen werden. Da durch das Verfahren gewährleistet ist, daß nachgelagerte Ziele nicht zu einer Verschlechterung bereits bestimmter Zielabweichungen führen, werden Kompromisse eher in den unwichtigen Kriterien eingegangen.<sup>1</sup> In dem Telefon-Beispiel zeigt sich dies in dem unwichtigsten Kriterium „Abfall“, bei dem das Idealziel nicht erreicht werden konnte.

	Telefon A	Telefon B	Operator	RS	erreicht
DB	10,00	6,00	>=	400,00	<b>400,00</b>
Menge Telefon B	0,00	1,00	>=	40,00	<b>40,00</b>
Abfall	1,30	2,40	<=	100,00	<b>116,80</b>
NB1	5,00	3,00	=	200,00	<b>200,00</b>
NB2	3,00	3,00	<=	180,00	<b>168,00</b>
<b>Lösung</b>	<b>16,00</b>	<b>40,00</b>			

Abb. 24: Ergebnistabelle des Lexikographischen Goalprogramming

#### 4.4.3 Interactive Multiple Goalprogramming (IMGP)

Auch bei dieser Methode handelt es sich um ein spezielles Verfahren des Goalprogramming.<sup>2</sup> Im Gegensatz zum Lexikographischen Goalprogramming werden die erforderlichen Präferenzinformationen durch den Entscheidungsträger interaktiv-*progressiv* bereitgestellt. Durch die schrittweise Angabe von Anspruchsniveaus wird der Zielraum so lange eingeschränkt, bis nur noch eine Alternative verbleibt, oder der Benutzer den Suchvorgang abbricht.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S. 308.

<sup>2</sup> Diese Methode wurde von Spronk, J. (1981) entwickelt; hier beschrieben in Anlehnung an Schneeweiß, C. (1991), S. 314-327.

<sup>3</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S. 313 f.

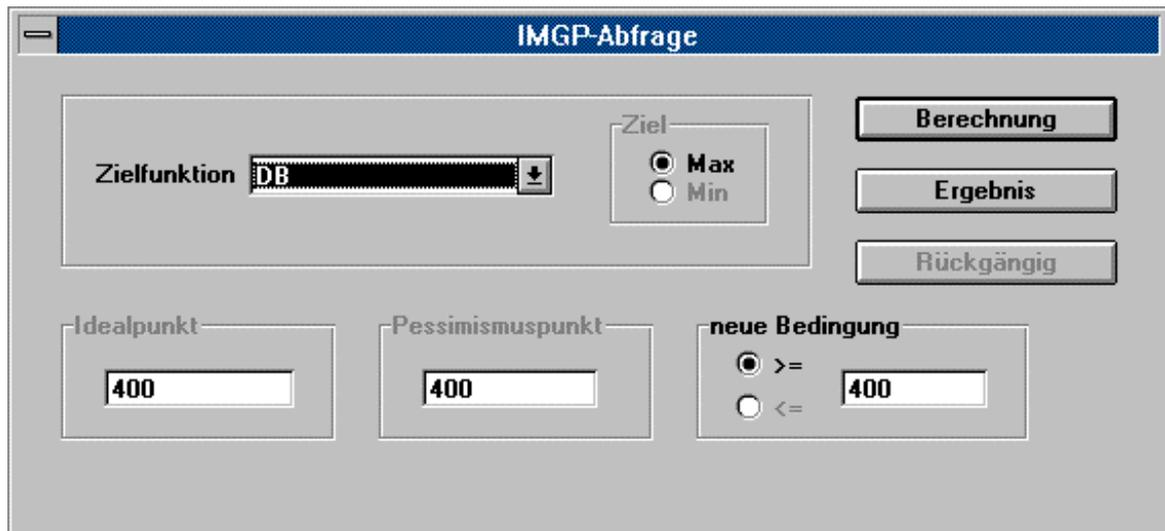


Abb. 25: Dialogfeld zur interaktiven Eingabe der Anspruchsniveaus

Jedes Einzelziel wird dazu zunächst unter Berücksichtigung der gegebenen Zielraumbeschränkungen getrennt optimiert. Die so ermittelten Optima werden für die Variablen in sämtliche übrigen Zielfunktionen eingesetzt. Es läßt sich eine sogenannte Auszahlungsmatrix aufstellen, die angibt, wie „erfolgreich“ die beste Alternative jedes Zieles für die jeweils anderen Ziele ist.<sup>1</sup> Die Diagonale der Matrix gibt die Koordinaten für die Ideallösung an, die Minima je Spalte den sogenannten Pessimismuspunkt. Letzterer wird dem Entscheidungsträger als (vorläufige) Lösung angeboten. Akzeptiert er diese Alternative, so ist der Entscheidungsprozeß beendet. Falls jedoch nicht, so wählt er ein Zielkriterium aus und gibt dafür ein Anspruchsniveau an, das er erfüllt sehen möchte. Somit wird dem Modell eine neue Nebenbedingung hinzugefügt. Wiederum wird eine Einzeloptimierung durchgeführt, jetzt unter zusätzlicher Berücksichtigung der neuen Nebenbedingung. Ausgelöst wird dieser Vorgang durch den „Berechnung“-Button des dazugehörigen Dialogfeldes (Abb. 25). Ein neuer Pessimismuspunkt wird dem Entscheidungsträger vorgelegt. Hat sich nun der Punkt in Bezug zum Idealpunkt verschlechtert, so kann die Wahl des neuen Anspruchsniveaus rückgängig gemacht werden („Rückgängig“). Die Wahl neuer Anspruchsniveaus kann solange fortgesetzt werden, bis eine Lösung akzeptiert wird. Durch Anklicken des „Ergebnis“-Buttons kann die Ergebnistabelle ausgegeben werden (Abb. 26).

	Telefon A	Telefon B	Operator	RS	erreicht
DB	10,00	6,00		Max	<b>400,00</b>
Menge Telefon B	0,00	1,00		Max	<b>40,00</b>
Abfall	1,30	2,40		Min	<b>116,80</b>
NB1	5,00	3,00	=	200,00	<b>200,00</b>
NB2	3,00	3,00	<=	180,00	<b>168,00</b>
NB3	0,00	1,00	>=	40,00	<b>40,00</b>
<b>Lösung</b>	<b>16,00</b>	<b>40,00</b>			

Abb. 26: Ergebnistabelle des Interactive Multiple Goalprogramming (IMGP)

<sup>1</sup> Vgl. Schneeweiß, C. (1991), S. 316 f.

## 5 Kritische Würdigung

Mit Hilfe von EUS-MK können Entscheidungsträger durch die Anwendung multikriterieller Methoden Handlungsempfehlungen zu Problemen mit mehrfacher Zielsetzung erzeugen. Um der Vielfältigkeit der Probleme der Realität gerecht zu werden, können EUS-MK auf verschiedenartigste Verfahren zurückgreifen. Die durch die jeweilige Entscheidungssituation gegebene Informationsstruktur determiniert die zur Lösung geeigneten Methoden.

Mit CriterEUS wurde versucht, ein generalisiertes EUS-MK zu realisieren. Integriert in das Tabellenkalkulationssystem Excel bietet es die Möglichkeit, in Tabellen ausdrückbare Problemmuster abzubilden, zu analysieren und die Ergebnisse zu präsentieren. Das System ist flexibel im Verbund mit Tabellenfunktionen und Excel-Anwendungen nutzbar. Der Anwender wird mittels einer Dialogführung in der Arbeit mit dem System unterstützt.

Bei der Entwicklung des Systems bemühte sich der Autor, den Anforderungen an EUS im allgemeinen und an EUS-MK im speziellen gerecht zu werden. Noch nicht vollständig erfüllt ist die Forderung nach der Unterstützung aller Phasen des Entscheidungsprozesses. Es wurde zunächst davon ausgegangen, daß die Aufgabe der Alternativensuche bei dem Entscheidungsträger verbleibt. In diesem Zusammenhang ist auch eine fehlende Datenbank-Anbindung zu erwähnen. CriterEUS wurde jedoch so konzipiert, daß diese und weitere unvollständige Funktionalitäten, insbesondere die Erweiterung der Methodenbank betreffend, ohne größere Probleme im Rahmen späterer Arbeiten integriert werden können.

## Anhang

### Der ELECTRE-Algorithmus

Das Verfahren ELECTRE besteht aus den folgenden acht Schritten.<sup>1</sup>

#### 1. Schritt: Bestimmung der gewichteten (normierten) Zielerreichungsmatrix

Auf Basis des Gewichtevektors  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T \in \mathbb{R}^n$  wird eine Gewichtematrix  $W \in \mathbb{R}^{n \times n}$  definiert, welche mit der (normierten) Zielerreichungsmatrix  $R$  multipliziert wird. Das Ergebnis ist die gewichtete (normierte) Zielerreichungsmatrix  $V$ .

$$V = R * W = R * \begin{pmatrix} w_1 & & & 0 \\ & w_2 & & \\ & & \dots & \\ 0 & & & w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{pmatrix}$$

#### 2. Schritt: Bestimmung der Konkordanz- und Diskordanz-Menge

Die Konkordanz- bzw. Nicht-Diskordanz-Bedingungen lauten im ELECTRE-Verfahren folgendermaßen:<sup>2</sup>

- $a \succ_j a'$  ist *konkordant* genau dann, wenn  $a$  in einer genügend großen Zahl von genügend wichtigen Kriterien besser als  $a'$  ist,
- $a \succ_j a'$  ist *nicht-diskordant*, wenn  $a$  nicht viel schlechter als  $a'$  in den übrigen Kriterien ist.

Auf Basis dieser Bedingungen lassen sich bezüglich aller Alternativen-Paare  $l, k$  mit  $l \neq k$  die sogenannte Konkordanz- ( $C_{kl} = \{j \in J \mid x_{kj} \geq x_{lj}\}$ ) bzw. Diskordanz-Menge ( $D_{kl} = \{j \in J \mid x_{kj} < x_{lj}\}$ ) bilden.

Die Entwicklung der Konkordanzmenge und der Diskordanzmenge setzt (ohne Einschränkung der Allgemeinheit) voraus, daß alle Kriterien zu maximieren sind.

#### 3. Schritt: Berechnung der Konkordanzmatrix C

Jede Konkordanz-Menge wird durch den Konkordanzindex  $c_{kl}$  charakterisiert. Er spiegelt die gewichtete Häufigkeit der Dominanz von der  $k$ -ten über die  $l$ -te Alternative wider und läßt sich folgendermaßen ermitteln:

<sup>1</sup> Vgl. Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), S. 208-212 und Vetschera, R. (1986), S. 101 f.

<sup>2</sup> Vgl. Vetschera, R. (1986), S. 101.

$$c_{kl} = \frac{\sum_{j \in C_{kl}} w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

**4. Schritt: Berechnung der Diskordanzmatrix D**

Der Diskordanzindex  $d_{kl}$  beschreibt, in welchem Grade die Zielausprägungen der  $k$ -ten Alternative schlechter sind als die Zielausprägungen der  $l$ -ten Alternative. Dazu werden die Unterschiede zwischen den Attributausprägungen der Matrix  $V$  benutzt. Für den Diskordanzindex gilt dann:

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |v_{kj} - v_{lj}|}{\max_{j \in J} |v_{kj} - v_{lj}|}$$

Ein hoher Wert von  $d_{kl}$  besagt im Hinblick auf die Kriterien der Diskordanzmenge, daß die  $k$ -te Alternative ungünstiger als die  $l$ -te Alternative ist.

**5. Schritt: Bestimmung der Konkordanz-Dominanz-Matrix F**

Unter der Annahme, daß ein Konkordanz-Schwellenwert  $c \in \mathbb{R}$  extern vorgegeben ist, wird eine Dominanz der  $k$ -ten Alternative über die  $l$ -te nur dann angenommen, wenn gilt  $c_{kl} \geq c$ .<sup>1</sup>  $c$  entspricht somit dem weiter oben erwähnten Indifferenz-Schwellenwert der Konkordanz-Bedingung von Outranking-Relationen.

Mithilfe von  $c$  wird die Konkordanz-Dominanz-Matrix  $F=(f_{kl})^{m \times m}$  konstruiert, eine Boolesche Matrix mit

$$f_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{falls } c_{kl} \geq c \\ 0, & \text{falls } c_{kl} < c \end{cases} \quad \text{mit } k \neq l.$$

$f_{kl} = 1$  bildet eine Dominanzbeziehung der  $k$ -ten Alternative über die  $l$ -te ab. Für  $f_{kl} = 0$  besteht eine solche Beziehung nicht.

---

<sup>1</sup> Der Schwellenwert kann z.B. auch als Durchschnitt der Konkordanzindizes berechnet werden:

$$c = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \frac{c_{kl}}{m \cdot (m - 1)}.$$

## 6. Schritt: Bestimmung der Diskordanz-Dominanz-Matrix G

Es wird vorausgesetzt, daß ein Diskordanz-Schwellenwert  $d$  (Präferenz-Schwelle) extern vorgegeben ist. Gilt für den Diskordanzindex  $d_{kl}$  die Ungleichung  $d_{kl} \leq d$ , so wird angenommen, daß nichts gegen eine Dominanz der  $k$ -ten Alternative über die  $l$ -te Alternative spricht. Für den Fall  $d_{kl} > d$  wird dagegen aufgrund starker Diskordanz ein Veto gegen eine solche Dominanz eingelegt. Ein solches Veto kommt laut Definition schon zustande, wenn die  $l$ -te Alternative in nur einem Kriterium die  $k$ -te übertrifft. Für die Matrix  $G = (g_{kl})^{m \times m}$  gilt also:

$$g_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{falls } d_{kl} \leq d \\ 0, & \text{falls } d_{kl} > d \end{cases} \quad \text{mit } k \neq l.$$

## 7. Schritt: Bestimmung der aggregierten Dominanz-Matrix E

Die Elemente der aggregierten Dominanz-Matrix  $E = (e_{kl})^{m \times m}$  errechnen sich folgendermaßen:  $e_{kl} = f_{kl} \cdot g_{kl}$ . E stellt somit den Durchschnitt von F und G dar.

Die Ausprägungen der Koeffizientenwerte der Matrix E haben folgende Bedeutung:

$e_{kl} = 1$  die  $k$ -te Alternative dominiert die  $l$ -te und die dabei eventuell auftretende Diskordanz reicht nicht für ein Veto aus.

$e_{kl} = 0$  die Konkordanz für eine Dominanz zwischen Alternative  $k$  und  $l$  ist zu schwach oder es liegt ein Veto gegen diese Dominanz vor.

## 8. Schritt: Eliminierung der dominierten Alternativen

Die durch die aggregierte Dominanz-Matrix E abgebildete (partielle) Präferenzordnung stellt die Outranking-Relation von ELECTRE dar. Alle diejenigen Alternativen, in deren zugehörigen Spalte der Matrix E sich mindestens eine 1 befindetet, ist als dominiert zu betrachten. Werden diese Alternativen eliminiert, so verbleiben die nicht-dominierten Alternativen als Lösung.

Da sich binäre Relationen grundsätzlich als gerichtete Graphen veranschaulichen lassen, ist dies auch für die (binäre) Matrix E möglich. Die  $m$  Alternativen bilden die Knoten. Zwischen zwei Knoten  $k$  und  $l$  verläuft genau dann eine (gerichtete) Kante, wenn  $e_{kl} = 1$  ist.

## Literaturverzeichnis

- Anderson, E. E. (1990), Choice models for the evaluation and selection of software packages, in: *Journal of Management Information Systems*, 6. Jg. 1990, S. 123-138.
- Belton, V., Vickers, S. (1990), Use of a simple multi-attribute value function incorporating visual interactive sensitivity analysis for multiple criteria decision making, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 319-334.
- Bouyssou, D. (1990), Building criteria: a prerequisite for MCDA, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 58-80.
- Brosius, G. (1994), *Excel 5.0 Professionell: Tabellenkalkulation mit Excel*, Bonn u. a. 1994.
- Buede, D. M. (1992), Software review - overview of the MCD software market, in: *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1. Jg. 1992, S. 59-61.
- Despontin, M., Moscarola, J., Spronk, J. (1983), A user-oriented listing of multiple criteria decision methodes, in: *Revue Belge de Statistique, d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 1983, S. 4-110.
- Dreyer, A. (1974), Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen. Eine Analyse des Entwicklungsstandes von Scoring-Modellen, in: *ZfB*, 44. Jg. 1974, S. 255-274.
- Dyckhoff, H. (1986), Informationsverdichtung zur Alternativenbewertung, in: *ZfB*, 56. Jg. 1986, S. 848-872.
- Dyer, J. S., Sarin, R. K. (1979), Measurable Value Functions, in: *Operations Research*, 1979, S. 810-822.
- Eisenführ, F., Weber, M. (1986), Zielstrukturierung: ein kritischer Schritt im Entscheidungsprozeß, in: *ZfbF*, 38. Jg. 1986, S. 907-929.
- Grob, H. L. (1985), Fallstudie zur Nutzwertanalyse, in: *WiSt*, 14. Jg. 1985, S. 150-153.
- Grob, H. L. (1989), Investitionsrechnung für Informations- und Kommunikationssysteme auf der Grundlage von Preis-Leistungs-Modellen, in: *Integration und Flexibilität: Eine Herausforderung für die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, Hrsg.: D. Adam u. a., 1989, S. 335-352.
- Heinrich, L. J., Roithmayr, F. (1986), *Wirtschaftsinformatik-Lexikon*, München u. a. 1986.

- Jelassi, M. T., Jarke, M. T., Stohr, E. A. (1985), Designing a generalized multiple criteria decision support system, in: *Journal of Management Information Systems*, 1. Jg. 1985, S. 24-43.
- Korhonen, P., Moskowitz, H., Wallenius, J. (1992), Multiple criteria decision support - a review, in: *EJOR*, 16. Jg. 1992, S. 361-375.
- Müller-Merbach, H. (1973), *Operations Research*, 3. Aufl, München 1973.
- Nijkamp, P., Voogd, H. (1985): An informal introduction to multicriteria evaluation, in: *Multiple criteria decision methods and applications*, Hrsg: G. Fandel, J. Spronk, Berlin 1985, S. 61-84.
- Nitzsch, R. von (1992), *Entscheidung bei Zielkonflikten: Ein PC-gestütztes Verfahren*, Wiesbaden 1992.
- Ostanello, A. (1990), Outranking Methods, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 41-60.
- Roy, B. (1980), Selektieren, Sortieren und Ordnen mit Hilfe von Prävalenzrelationen: Neue Ansätze auf dem Gebiet der Entscheidungshilfe für Multikriterien-Probleme, in das Deutsche übersetzt von H.-M. Winkels und A. Jaeger, in: *ZfbF*, 32. Jg. 1980, S. 465-497.
- Roy, B. (1990a), Decision-aid and decision-making, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 17-35.
- Roy, B. (1990b), The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 155-183.
- Schneeweiß, C. (1991), *Planung*, 2 Bde., Berlin u. a. 1991, Bd. 1.
- Spronk, J. (1981), *Interactive Multiple Goal Programming: applications to financial planning*, Boston 1981.
- Teghem, J., Delhaye, C., Kunsch, P. L. (1989), An interactive decision support system (IDSS) for multicriteria decision aid, in: *Mathematical and Computer Modelling*, 12. Jg. 1989, S. 1311-1320.
- Tversky, A. (1972), Elimination by aspects: a theory of choice, in: *Psychological Review*, 1972, S. 281-299.
- Vansnick, J.-C. (1990), Measurement theory and decision aid, in: *Readings in multiple criteria decision aid*, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 81-100.

- 
- Vetschera, R. (1986), Sensitivity Analysis for the ELECTRE multicriteria method, in: Zeitschrift für Operations Research Serie B, 1986, S. 99-117.
- Vincke, P. (1990), Basic concepts of preference modelling, in: Readings in multiple criteria decision aid, Hrsg.: C. A. Bana e Costa, Berlin u. a. 1990, S. 101-118.
- Weber, K. (1993), Mehrkriterielle Entscheidungen, München, Wien 1993.
- Zahn, E., Kleinhans, A. (1989), Systeme zur Entscheidungsunterstützung, in: WISU, 18. Jg. 1989, S. 558-563.
- Zimmermann, H.-J., Gutsche, L. (1991), Multi-Criteria Analyse: Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, Berlin u. a. 1991.

## **Arbeitsberichte der Reihe Computergestütztes Controlling**

- Nr. 1 Grob, H. L., Positionsbestimmung des Controlling, Arbeitsbericht Nr. 1, Münster 1996.
- Nr. 2 Grob, H. L., Weigel, L., Flexible Investitionsplanung mit VOFI - Integration von VOFI und DPL, Arbeitsbericht Nr. 2, Münster 1996.
- Nr. 3 Meininger, P., Differenzanalyse bei LP-Modellen, Arbeitsbericht Nr. 3, Münster 1996.
- Nr. 4 Borkenfeld, A., Fuzzy VOFI, Arbeitsbericht Nr. 4, Münster 1996.
- Nr. 5 Ziegenbein, R., CriterEUS - Ein multikriterielles Entscheidungsunterstützungssystem unter Excel, Arbeitsbericht Nr. 5, Münster 1996.