

KfK 2730  
Februar 1979

# **Rechnerauswahl — Eine Übersicht über Probleme und Lösungsansätze**

**W. Müller**  
Institut für Datenverarbeitung in der Technik  
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Datenverarbeitung in der Technik  
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung

KfK 2730

PWA 117/78

Rechnerauswahl - Eine Übersicht über  
Probleme und Lösungsansätze

W. Müller

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Es werden die bei der Auswahl eines Rechnersystems auftretenden Probleme erläutert. Die üblichen Lösungsansätze, zur Bestimmung der Anforderungen an das geplante System, zur Auswahl von Anbietern der diese Anforderungen lösenden Systeme und zur bewertenden Gegenüberstellung der Anforderungen und der Angebote, werden in ein Modell eingearbeitet. Dieses Modell ist eingebettet in den ebenfalls beschriebenen Gesamtprozess der Rechnerauswahl.

## Abstract

### Computer selection - A survey of problems and solutions

This paper explains the problems which arise while selecting a computer. The usual solutions, for the definition of the requirements, for the selection of vendors and for the evaluation of the tenders against the requirements, are integrated in a model. This model is embedded in the overall procedure of computer selection.

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Ein einfacher Algorithmus	2
2.1 Der Anforderungsvektor	2
2.2 Die Lösungsmenge	4
2.3 Der Vergleich	5
2.3.1 Transformation der Anforderungen	6
2.3.2 Transformation der Eigenschaften	7
3. Modifizierungen des Algorithmus	9
4. Die Bewertung	11
4.1 Die Einzelbewertungen	11
4.1.1 Auswahl einer Skala	11
4.1.2 Wertezuordnung	13
4.2 Zusammenfassung der Einzelbewertungen	15
4.2.1 Bestimmen der Gewichte	15
4.2.2 Auswahl eines Verfahrens	15
4.3 Beispiel	22
4.4 Kritik des Bewertungsverfahrens	24
5. Der endgültige Algorithmus	26
6. Organisatorische Durchführung der Rechnerauswahl	27
7. Schlußbemerkung	29
8. Literatur	30

## 1. Einleitung

Ziel des Systementwurfs für ein anwendungsbezogenes Datenverarbeitungssystem ist es, zu der gegebenen Problemstellung die optimale Lösung zu bestimmen. Ausgehend von den durch das Problem festgelegten Anforderungen muß ein Hardware-/Softwarekomplex gefunden werden, der diese Anforderungen - idealerweise - vollständig erfüllt. Im folgenden Bericht wird einschränkend die Bestimmung der zur Lösung erforderlichen Hardwareeinheiten behandelt. Es werden die dabei auftretenden Probleme aufgezeigt und erläutert, und es werden gebräuchliche Lösungsverfahren vorgestellt.

## 2. Ein einfacher Algorithmus

In einem ersten Ansatz kann das Problem der Rechnerauswahl in dem folgenden einfachen Modell beschrieben werden:

a sei der Vektor der Anforderungen, denen das gesuchte System genügen muß;

LR sei die Menge aller auf dem Markt erhältlichen Rechnersysteme.

Das Auswahlproblem besteht dann darin, aus der Menge LR das Element zu finden, das die Anforderungen a erfüllt.

Für die Lösung dieses Problems kann folgender einfacher Algorithmus angegeben werden:

```
for all k ∈ LR do
    if k genügt a then k ist Lösung
end
```

### 2.1 Der Anforderungsvektor

Der Anforderungsvektor a beschreibt anwendungsnah die durch das gesuchte System zu lösende Aufgabenstellung. Mit ihm wird die Schnittstelle des Systems zu seiner Umwelt definiert, wobei nicht nur aufgaben- und informationsbezogene, sondern auch organisatorische und finanzielle Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Die für die Rechnerauswahl entscheidende Eigenschaft des Anforderungsvektors ist, daß er in dem Anforderungsraum nicht einen einzigen Punkt eindeutig festlegt, sondern daß er unscharf begrenzte Teilräume bezeichnet. Welches sind die Gründe für diese Unschärfe

#### 1.) Unvollständigkeit

Ein Teil der Anforderungen wird als trivial betrachtet und deshalb nicht formuliert. Beispiele sind Staubfreiheit der umgebenden Atmo-

sphäre oder schlimmstenfalls auftretende Vibrationsfrequenz der Aufstellungsfläche. Für solche Anforderungen gibt es nicht ausdrücklich festgelegte Bereiche, die als "normal" gelten und nur dann spezifiziert werden, wenn dieser Toleranzbereich verlassen wird.

## 2.) Mehrdeutigkeit

Die Mehrdeutigkeit in der Beschreibung rührt daher, daß unbewußt

- 1.) die verwendeten Begriffe subjektiv unterschiedlich interpretiert werden,
- 2.) die Anforderungen nicht eindeutig quantifiziert werden können, z.B. gibt es keine Maßzahl für Benutzungsfreundlichkeit.

## 3.) Unbestimmtheit

Komponenten des Anforderungsvektors sind nicht punktuell definiert, sondern es ist eine Zielfunktion gegeben, die durch eine geeignete Realisierung der Anforderungen optimiert werden soll. Beispiel ist die Forderung, den Bedienungsaufwand am Magnetbandgerät zu minimieren.

In unserem Modell führen Schwierigkeiten des Problemkreises 1 dazu, daß ein System bezüglich einer Anforderungsdimension nicht festgelegt ist und diese Komponente damit für die Auswahl irrelevant bleibt, obwohl das Lösungssystem bezüglich dieser Komponente bestimmte beschränkende Eigenschaften hat. Beim Problemkreis 2 behilft man sich, indem Anforderungskomponenten willkürlich, meist unbewußt und nicht immer im Sinne der ursprünglichen Aufgabenstellung festgelegt werden. Bezüglich des Problemkreises 3 werden in den jeweiligen Anforderungsdimensionen auch Bereiche zugelassen. Diese Bereiche sind jedoch durch die Zielfunktion ausgerichtet, so daß eine begründbare Festlegung der Anforderungen möglich wird.

## 2.2 Die Lösungsmenge

Die Menge LR, die Menge aller auf dem Markt erhältlichen Systeme, in der auch die gesuchte Lösung enthalten ist, ist zwar endlich, aber nicht mehr handhabbar. Man wird daher versuchen, sie auf eine Teilmenge möglichst geringer Mächtigkeit einzuschränken. Dazu bedient man sich folgender Verfahren:

### 1.) Anforderungsbezogene Einschränkungen

In dem Anforderungsvektor  $a$  werden bestimmte Komponenten (Teilforderungen) zu unbedingten oder Mindestanforderungen erklärt. Alle Konfigurationen, welche diese Forderungen nicht erfüllen, scheiden aus. Beispiele solcher Forderungen sind: Kostenobergrenze, kein Hardwaremix, nur inländische Hersteller-(Vertriebs-)Firmen, bestimmte Klimabedingungen. Solche Mindestanforderungen haben einen sehr starken Selektionseffekt; die Mächtigkeit der Teilmenge der noch zu betrachtenden Konfigurationen wird sehr schnell klein werden. Es besteht sogar die Gefahr, daß durch unkritische Einstufung von Anforderungen zu Mindestanforderungen diese Teilmenge leer wird, d.h. es gibt überhaupt keine Konfiguration mehr, die den gegebenen Anforderungen genügt. Es ist deshalb zu empfehlen, Anforderungen nur nach sorgfältiger Prüfung zu Mindestanforderungen zu erklären.

### 2.) Nicht anforderungsbezogene Einschränkungen

Den unter 1.) beschriebenen Mechanismen liegt eine ausschließende Vorgehensweise zugrunde, es werden bestimmte Konfigurationen von vornherein für die weitere Betrachtung ausgeschlossen. Nun ist auch eine einschließende, konstruktive Vorgehensweise denkbar und durchführbar. Dazu werden ausgehend von den Anforderungen  $a$  die diese lösenden Konfigurationen grob bestimmt. "Grob" meint, daß eine Konfiguration nicht exakt festgelegt wird, sondern daß Konfigurationstypen bestimmt werden, die dann dem Auswahlprozeß unterworfen werden. Dabei kann es durchaus vorkommen, daß zunächst Konfigurationen betrachtet werden, die den Anforderungen nach genauer Untersuchung nicht genügen.

Bei dieser Vorgehensweise spielt die Erfahrung des Auswählenden eine entscheidende Rolle. Und zwar die Erfahrung bezüglich der Lösungsmöglichkeiten und bezüglich des Marktes: Ist beispielsweise der Stand der Tech-

nik nicht oder nur unzureichend bekannt, werden kaum Konfigurationen aus diesem Bereich vorgeschlagen werden. Eine Lösung für dieses Problem erwähnt /Diruf 71/, nach der ausgehend von einer Konfiguration nach einem kombinatorischen Ansatz weitere Konfigurationen bestimmt werden. Allerdings scheint diese Vorgehensweise in ihren fragwürdigen Ansätzen steckengeblieben zu sein. Erfolgversprechender und auch praktisch angewandt wird die Methode, die Vertriebsabteilungen der Rechnerhersteller an der Konfigurationenerzeugung zu beteiligen, um so den Erfahrungsschatz zu erweitern.

Die zweite von der Erfahrung bestimmte Komponente, welche die Bestimmung der Menge LR beeinflusst, ist die Marktübersicht. Die Aufforderung, ein Angebot abzugeben, geht in der Regel nur an eine Auswahl von Firmen. Der Auswählende wird nur solche Firmen ansprechen, die er kennt und die er subjektiv für fähig hält, geeignete Konfigurationen anzubieten. Unterstützung bieten hier Hardwarekataloge /Auerbach/, /PSI 78/, /Computer 78/ und der Besuch von Messen.

Ein anderer die Auswahl beschränkender Faktor ist die verfügbare Zeit. Selbst bei optimaler Marktübersicht und Kenntnis der gängigen Lösungsverfahren wird noch eine endliche Zeitspanne benötigt. Da diese Zeit, aus welchen Gründen auch immer, äußerst knapp bemessen ist, wird wahrscheinlich die optimale Lösung nicht gefunden werden.

Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Bestimmung der überhaupt zu betrachtenden Alternativen ein wichtiger Bestandteil des Auswahlverfahrens ist. Obwohl die hier getroffenen Entscheidungen eine große Reichweite haben, gibt es kaum Ansätze zur systematischen Lösung dieses Problems.

### 2.3 Der Vergleich

Nach dem beschriebenen Modell der Rechnerauswahl muß überprüft werden, ob die Eigenschaften eines betrachteten Systems den Anforderungen genügen. Um diese Beziehung überprüfen zu können, müssen Eigenschaften und Anforderungen vergleichbar gemacht werden. Dazu bieten sich zwei Alternativen an:

1. Vergleich auf der Ebene der Eigenschaften.

Es werden Eigenschaften bestimmt, die erfüllt sein müssen, wenn die Anforderungen befriedigt werden sollen. Gegen die so gewonnenen Idealeigenschaften werden dann die konkreten Eigenschaften der betrachteten Systeme verglichen.

2. Vergleich auf der Ebene der Anforderungen.

Die Eigenschaften jedes betrachteten Systems werden abgebildet auf ein Modell, evtl. über mehrere Stufen. Die Eigenschaften dieses Modells sind dann direkt mit den Anforderungen vergleichbar.

In der Praxis werden häufig beide Verfahren gemischt angewandt.

Diese Transformationen - der Anforderungen in die Eigenschaften bzw. umgekehrt - sind sehr schwierig durchzuführen und weitgehend der Subjektivität des Bearbeiters unterworfen. Es ist daher günstig, an diesem Prozeß mehrere Personen zu beteiligen und nach einem der beschriebenen, rationalen Verfahren vorzugehen. Beides garantiert jedoch nicht, daß die objektiv richtige Entscheidung gefällt wird. Es wird dadurch lediglich wahrscheinlicher, sie zu finden.

### 2.3.1 Transformation der Anforderungen

Bei der Festlegung der Transformation sind qualitative und quantitative Zusammenhänge zu bestimmen.

- Qualitativ:

Welche Eigenschaft oder welche Kombination von Eigenschaften trägt zur Erfüllung einer Anforderung bei.

- Quantitativ:

Welche Beziehung besteht zwischen den quantitativen Angaben der Anforderungen und denen der Eigenschaften.

In der Praxis werden zwei Verfahren angewandt

a) Zielverfeinerung

Die Anforderungen werden nach Ursache-Wirkung hierarchisch so lange ver-

feinert, bis die Anforderungen der untersten Stufe mit den Eigenschaften direkt vergleichbar sind (vergl. Wertanalyse in /VDI 75/). Tatsächlich wird häufig der umgekehrte Weg beschritten: aus einem umfassenden Katalog an Eigenschaften (sog. Kriterienkatalogen /Bendeich 76/, /Bendeich 75/, /Fuller 77/, /Greiller 74/, /Heinrich 75/, /VDI-VDE 75/, /Wagner 77/, /Wedekind 73/) werden diejenigen ausgestrichen, denen für die Erfüllung der Anforderungen keine wesentliche Bedeutung zugemessen wird.

#### b) Modellierung der Anforderungen

Diese Vorgehensweise wird vor allem bei der Umsetzung von Anforderungen an das zeitliche Leistungsverhalten eingesetzt. Die Verarbeitungsaufgaben werden approximiert durch

- benchmarks
- kernels (vereinfachte benchmarks, z.B. ausschließliches bit handling)
- Befehlmixe (Sammlung von typischen Maschinenbefehlen für die Anwendung).

Die Ausführungszeiten dieser Approximationen werden auf der betrachteten Anlage gemessen oder aus bekannten Ausführungszeiten einzelner Befehle errechnet.

### 2.3.2 Transformation der Eigenschaften

Die hier beschriebenen Verfahren werden wegen des hohen mathematischen und apparativen Aufwandes weniger häufig eingesetzt. Es sind abstrakte und konkrete Modelle unterscheidbar.

#### - Abstrakte Modelle

Die Eigenschaften der betrachteten Systeme gehen als Parameter in ein Modell ein (der Modelltyp ist durch die geplante Anwendung bestimmt). Das beobachtbare Verhalten des Modells ist dann direkt mit den Anforderungen vergleichbar. Bei der Behandlung der Modelle unterscheidet man

#### a) Analytische Verfahren

Mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung lassen sich Aussagen

über die vorwiegend nach der Warteschlangentheorie modellierten Systeme errechnen. Um solche Aussagen ableiten zu können, müssen jedoch stark vereinfachende Annahmen gemacht werden, die dann die Brauchbarkeit in Frage stellen. Beispiele für diese Methoden sind in /Diruf 71/, /Lauber 74/ und /Scheer 78/ beschrieben.

b) Simulative Verfahren

Das Modell wird auf einen Rechner abgebildet und auf diesem simuliert. Der bekannteste Vertreter dieser Verfahren ist SCERT /Compton 75/ (siehe auch /Chandler 77/).

- Konkrete Modelle

Eine weitere Methode, die vor allem für die Beurteilung von Datenerfassungsgeräten und -verfahren brauchbar ist, besteht darin, den Anwender in einer möglichst realen Umgebung mit Teilen des Systems arbeiten zu lassen. Dazu wird entweder das geplante System zunächst nur teilweise installiert, oder die zu betrachtenden Komponenten werden mit einem bereits existierenden System verbunden.

### 3. Modifizierungen des Algorithmus

Nach den bisherigen Betrachtungen kann der eingangs beschriebene Algorithmus für die Rechnerauswahl in folgender Weise präzisiert werden:

```
for all  $k \in L \subset LR$  do
  if Eigenschaften(k) umfassen  $f(a)$  oder
     $g(\text{Eigenschaften}(k))$  umfassen  $a$ 
  then  $k$  ist Lösung
end
```

mit

LR Menge aller auf dem Markt erhältlichen Systeme

L eingeschränkte Lösungsmenge

$f(a)$  Menge der Eigenschaften, die durch Transformation der Anforderungen entstanden sind

$g(\dots)$  Menge der Anforderungen, welche durch gegebene Eigenschaften erfüllt werden

$a$  Anforderungsvektor .

Die Anwendung dieses modifizierten Algorithmus liefert in den seltensten Fällen ein brauchbares Ergebnis: die Menge der Alternativen, die allen Anforderungen genügen, ist leer, d.h. es gibt kein System, das alle Anforderungen vollständig erfüllt. Abhilfe schafft hier die bereits erwähnte Aufteilung in unbedingte und wünschenswerte Anforderungen. Die unbedingten Anforderungen sind dadurch gekennzeichnet, daß für sie Grenzen definiert sind, die unter keinen Umständen überschritten werden dürfen (z.B. Speicherkapazität, Leitungsgeschwindigkeit).

In dem Algorithmus ist der Anforderungsvektor  $a$  überall durch den daraus abgeleiteten Vektor der Mindestanforderungen  $a_{\text{mind}}$  zu ersetzen:

```
 $K = \emptyset$ 
for all  $k \in L \subset LR$  do
  if Eigenschaften(k) umfassen  $f(a_{\text{mind}})$  oder
     $g(\text{Eigenschaften}(k))$  umfassen  $a_{\text{mind}}$ 
  then  $K = K \cup \{k\}$ 
end
```

wobei  $K$  die Menge der Alternativen bezeichnet, die den Mindestanforderungen genügen.

Nach dieser Modifizierung liefert der Algorithmus i.a. eine ganze Reihe von Alternativen, welche die gestellte Aufgabe lösen, d.h. die Mächtigkeit der Menge  $K$  ist größer 1. Im nächsten Schritt muß dann aus dieser Menge die der Anwendung am ehesten angemessene, die "beste", Alternative ausgewählt werden. Formal ist also eine Abbildung  $h$  zu definieren zwischen dem mehrdimensionalen Beschreibungsvektor der betrachteten Alternativen und einem eindimensionalen Wert mit der Eigenschaft, daß durch Aussagen über diese eindimensionalen Werte Aussagen über die Alternativen möglich sind. Z.B.:

$$A_1 \begin{cases} \text{besser} \\ \text{gleich gut} \\ \text{schlechter} \end{cases} A_2 \iff h(A_1) \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} h(A_2) .$$

#### 4. Die Bewertung

Für diese Abbildung h bietet sich die Methode der Nutzwertanalyse an (/Zan-  
gemeister 71/, /Scheller 74/, /Rinza 77/). Im folgenden sollen die dort ein-  
gesetzten Verfahren erläutert werden. Eine grundsätzliche Diskussion der Ra-  
tionalität, der unabdingbaren Voraussetzungen und der maximal erzielbaren Er-  
gebnisse der Nutzwertanalyse soll hier jedoch nicht geleistet werden. Hierzu  
sei auf die umfangreiche Literatur zur System- und Entscheidungstheorie hinge-  
wiesen.

Die Verfahren setzen sich aus zwei Schritten zusammen:

1. Eine Einzelbewertung der Alternativen bezüglich jeder Eigenschaft oder jeder Anforderung (im folgenden kurz: Kriterium).
2. Zusammenfassung der Einzelbewertungen zu einer Gesamtaussage.

##### 4.1 Die Einzelbewertungen

Dieser Schritt zerfällt seinerseits wieder in zwei Einzelschritte:

- a) Auswahl einer Skala, d.h. Auswahl eines Maßes, in dem die Alternativen gemessen werden,
- b) Wertezuordnung, d.h. Bestimmung eines Skalenwertes auf der ausgewählten Skala, Bestimmung einer Maßzahl auf dem ausgewählten Maß.

##### 4.1.1 Auswahl einer Skala

Es sind folgende Skalentypen unterscheidbar:

- Nominalskalen

Einteilung der Alternativen in Klassen. Vergleichsmöglichkeiten bestehen nur auf Gleichheit und Verschiedenheit.

- Ordinalskalen

Zusätzlich zur Nutzengleichheit und -verschiedenheit wird auch die Richtung der Unterschiede dargestellt.

- Kardinalskalen

. Intervallskalen

Erweiterung der Ordinalskalen derart, daß die Größe des Abstands zwischen zwei Alternativen dargestellt wird.

. Verhältnisskalen

Erweiterung der Ordinalskalen derart, daß über das Verhältnis zweier Alternativen Aussagen gemacht werden.

In der folgenden Tabelle ist zu jedem Skalentyp ein typisches Beispiel genannt und dargestellt, welche Aussagen man ableiten kann.

Skalentyp	NOMINAL	ORDINAL	INTERVALL	VERHALTNIS
sinnvolle Aussage	Gleichheit Verschiedenheit	← größer, kleiner ←	Gleich- und Verschiedenheit von Intervallen ←	Gleich- und Verschiedenheit von Summen, Vielfachen und Quotienten
bekanntes Beispiel	Farbskala	Härteskala	Temperaturmessung	Längen- und Gewichtsmessung

Welcher Skalentyp im konkreten Einzelfall auszuwählen ist, kann nicht generell angegeben werden. Grundsätzlich kann man sagen, daß die Aussagekraft von Kardinalskalen die von Ordinalskalen, die von Ordinalskalen die von Nominalskalen übertrifft. Die umgekehrte Reihenfolge ergibt sich, wenn man den Beurteilungsaufwand betrachtet und den Informationsstand und die Urteilskraft der Urteilstperson einbezieht. Zangemeister schlägt folgende Vorgehensweise vor:

"Sind die Urteilsergebnisse mehrerer Urteilsfolgen näherungsweise wiederholungsstabil, so kann die Anwendung der benutzten Skalierungsmethode als gerechtfertigt angesehen werden. Treten dagegen starke Inkonsistenzen auf, dann ist der zu bewertende Sachverhalt

zu komplex und/oder die Urteilstperson ist sachlich inkompetent. In einem solchen Fall empfiehlt sich die Anwendung einer Skalierungsmethode mit niedrigerem Skalenniveau, gegebenenfalls aber auch eine vollständige Neuformulierung der Bewertungsaufgabe".

#### 4.1.2 Wertezuordnung

Die Aufgabe besteht darin, jeder Alternative einen Wert auf der Skala zuzuordnen. Dazu sind folgende Verfahren geeignet:

##### a) Nominalskalen

Definition von Qualitätsklassen und Zuordnung der Alternativen zu diesen Klassen.

##### b) Ordinalskalen

###### - Rangordnungsverfahren

Die Alternativen werden direkt verglichen und entsprechend dem Ergebnis dieses Vergleichs angeordnet.

###### - Vollständiger Paarvergleich

Der Rang  $R_h$  der Alternative  $A_h$  ergibt sich zu

$$R_h = n - \sum_{i=1}^n e_{ih} \quad \text{mit } n = \text{Anzahl der Alternativen}$$

$$e_{ih} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } A_h \text{ besser } A_i \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Alternative  $A_i$  steht vor Alternative  $A_j$ , wenn  $R_i < R_j$ .

##### c) Verhältnisskalen

###### - Direkte Verhältnisschätzung

Paarweiser Vergleich der Alternativen und Angabe eines Schätzwertes. Auf diese Weise entsteht eine Verhältniskette, aus der nach Festlegung eines Wertes die restlichen Werte ableitbar sind.

- Sukzessive Vergleiche

Hier werden die Alternativen zunächst in eine Rangordnung gebracht und entsprechende Schätzwerte verteilt. Diese Werte werden dann sukzessive mit der Summe von anderen Werten verglichen und geeignet korrigiert.

- Verhältnisherstellung

. Normativer Ansatz

Es wird eine Funktion festgelegt (z.B. Gerade, S-Funktion), die für jede Eigenschaft oder Anforderung eine Beziehung herstellt zwischen dem Erfüllungsgrad und dem Skalenwert.

. Psychometrischer Ansatz

Einem Erfüllungsgrad einer Eigenschaft oder Anforderung wird als Bezugspunkt ein Skalenwert zugeordnet. Danach werden für eine Folge von  $a_i$  die Erfüllungsgrade bestimmt, die den  $a_i$ -fachen Skalenwerten zugeordnet sind.

d) Intervallskalen

- Direkte Intervallskalierung

Die Urteilsaufgabe besteht darin, den zu vergleichenden Objekten Skalenwerte so zuzuordnen, daß die numerischen Differenzen zwischen den Zahlen den subjektiven Distanzen zwischen den Objekten entsprechen.

- Indirekte Intervallskalierung

Aus einer ordinalen Bewertung wird mittels einer Transformationsfunktion eine Intervallskala abgeleitet:

Transformation von Rangreihen n-ter Ordnung

Annahme einer Verteilung (äquidistant, normalverteilt) der n Objekte

Transformation von Vorzugshäufigkeiten

Die subjektiv empfundene Distanz zwischen zwei Vergleichsobjekten ist umso geringer, je öfter ihre binäre Rangordnung bei Urteilswiederholungen unterschiedlich gesehen wird.

Rechenverfahren: Gesetz vom komparativen Urteil

Gesetz vom kategorialen Urteil.

## 4.2 Zusammenfassung der Einzelbewertungen

Mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen Methoden erhält man eine Anordnung der Alternativen bezüglich jedes einzelnen Kriteriums. Diese Einzelaussagen müssen nun zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden. Das geschieht in zwei Schritten: Bestimmen von Gewichten und Auswahl eines Verfahrens.

### 4.2.1 Bestimmen der Gewichte

Die einzelnen Kriterien werden in der Zusammenfassung unterschiedlich wichtig eingestuft, sie erhalten unterschiedliches Gewicht. Diese Gewichte sind nach einer der oben beschriebenen Methoden zu bestimmen. In der Praxis sind diese Gewichte numerische Werte, obwohl auch Ordinal- oder Nominalwerte denkbar wären. Die Berücksichtigung dieser Gewichte bei der unten beschriebenen Zusammenfassung der Einzelbewertungen erfolgt dadurch, daß die jeweilige Einzelbewertung entsprechend der Gewichtszahl vielfach berücksichtigt wird.

### 4.2.2 Auswahl eines Verfahrens

In Abhängigkeit von dem gewählten Skalentyp sind folgende Verfahren unterscheidbar

#### - Nominalskalen

- a) Simon-Regel: Eine Alternative erhält einen Gesamtwert nur dann, wenn sie mindestens diesen Wert in jeder Einzelbewertung erhalten hat.
- b) Regel der Befriedigung der größten Zahl: Die Alternative  $A_h$  ist besser als die Alternative  $A_j$ , wenn sie in mehr Einzelbewertungen die beste Note erreicht als  $A_j$ .
- c) Lexikographische Zusammenfassung: Ausgangspunkt ist, daß mit der Simon-Regel die Alternativen zunächst in zwei Klassen eingeteilt werden. Die Alternativen der besseren Klasse werden dann dadurch weiter geordnet, daß das wichtigste Kriterium die Reihenfolge bestimmt.

Sind dabei zwei Alternativen gleichwertig, entscheidet das nächst-wichtigere, usw.

- Ordinalskalen

a) Majoritätsregel:

Alternative  $A_h$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{besser} \\ \text{gleich} \\ \text{schlechter} \end{array} \right\}$  Alternative  $A_i :=$

$$\sum_{j=1}^m D_{ih,j} \left\{ \begin{array}{l} > \\ = \\ < \end{array} \right\} 0$$

$$D_{ih,j} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ -1 \end{array} \right\}, \text{ wenn } A_h \text{ in der } j\text{-ten Einzelbewertung } A_i \\ \text{überlegen, gleich oder unterlegen ist}$$

$m$  = Zahl der Kriterien .

b) Rangordnungssummenregel

Der Ergebnisrang ergibt sich aus der Summe der Rangnummern in den Einzelbewertungen.

c) Vorzugshäufigkeiten

Diese Verfahren sind zweistufig. Zunächst wird für alle Alternativenpaare  $A_h$  und  $A_i$  bestimmt, in wievielen Einzelbewertungen die Alternative  $A_i$  der Alternative  $A_h$  überlegen ist. Es wird eine Kennzahl  $f_{ih}$ , die Vorzugshäufigkeit, bestimmt, die aussagt wie stark  $A_i$   $A_h$  überlegen ist. (Damit ist eine Anordnung nach der Majoritätsregel erreicht.) Im zweiten Schritt wird aus diesen Kennzahlen für jede Alternative  $A_h$  ein Gesamtwert  $r_h$  berechnet. Dazu wird die Summe der Vorzugshäufigkeiten  $f_{ih}$  der Alternative  $A_h$  gegenüber allen anderen Alternativen gebildet, wobei alle  $f_{ih}$  gleichgewichtig eingehen (Austin-Slight-Regel) oder extreme  $f_{ih}$  stärker berücksichtigt werden (Thurnstone). Nach der Copeland-Regel geht in die Summation nur die Tatsache der Überlegenheit ein, d.h. der Grad der Überlegenheit bleibt unberücksichtigt.

Die Gesamtwerte  $r_h$  definieren wieder eine Rangfolge, wobei der größere Wert den besseren Platz bezeichnet.

. Copeland-Regel

$$r_h = \sum_{i=1}^n \operatorname{sgn} f_{ih}$$

$$f_{ih} = \sum_{j=1}^m D_{ih,j}$$

$n$  = Anzahl der Alternativen

$m$  = Anzahl der Kriterien

$D_{ih,j}$  siehe Majoritätsregel Seite 16 .

. Austin-Slight-Regel

$$r_h = \sum_{i=1}^n f_{ih}$$

$$f_{ih} = \sum_{j=1}^m E_{ih,j}$$

$n$  = Anzahl der Alternativen

$m$  = Anzahl der Kriterien

$$E_{ih,j} = \begin{cases} 1 \\ 0.5 \\ 0 \end{cases}, \text{ wenn } A_h \text{ in der } j\text{-ten Einzelbewertung}$$

$A_i \left\{ \begin{array}{l} \text{überlegen} \\ \text{gleich} \\ \text{unterlegen} \end{array} \right\}$  ist.

. Thurnstone-Regel

$$r_h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ih}$$

wobei  $x_{ih}$  durch die folgende Beziehung bestimmt ist

$$\frac{1}{m} f_{ih} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_{ih}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

mit

$$f_{ih} = \sum_{j=1}^m E_{ih,j}$$

$E_{ih,j}$  siehe Austin-Slight

$n$  = Anzahl der Alternativen

$m$  = Zahl der Kriterien .

- Kardinalskalen

Bei Kardinalskalen liegen die Einzelbewertungen in Form numerischer Werte, der Nutzwerte, vor. Bei der Zusammenfassung werden diese Werte miteinander verrechnet. Dazu müssen die Skalen fixiert werden, indem

die Skaleneinheit ( $\rightarrow$  Verfahren a)) oder  
der Skalenursprung ( $\rightarrow$  Verfahren b)) oder  
beides ( $\rightarrow$  Verfahren c))

festgelegt werden. Dementsprechend sind folgende Verfahren zu unterscheiden ( $N_h$  = Gesamtnutzen der Alternative  $A_h$ ,  $m$  = Anzahl der Kriterien,  $n$  = Zahl der Alternativen,  $n_{jk}$  Nutzwert der Alternative  $A_j$  bezüglich des  $k$ -ten Kriteriums).

a) Intervallfixierte Nutzenaddition

$$N_h = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (n_{hj} - n_{ij})$$

b) Punktfixierte Nutzenmultiplikation

$$N_h = \prod_{j=1}^m n_{hj}$$

c) Absolute Fixierung

. Vergleich der Alternativen untereinander

- absolut fixierte Nutzenaddition

$$N_h = \sum_{j=1}^m n_{hj} .$$

- cost-value-technique

Bei diesem Verfahren, das von Joslin /Joslin 68/ entwickelt wurde, liegen die Einzelbewertungen in absolut fixierten Skalen vor, deren Werte den in Geldeinheiten quantifizierten Nutzen darstellen. Für die Zusammenfassung werden diese Einzelwerte addiert und von den Gesamtkosten der Alternative subtrahiert.

- Pessimismus-Optimismus-Regel

$$N_h = \alpha \text{Maximum}_{j=1, \dots, m} (n_{hj}) + (1-\alpha) \text{Minimum}_{j=1, \dots, m} (n_{hj})$$

mit  $0 \leq \alpha \leq 1$  .

. Vergleich der Alternativen mit der optimalen Alternative

$A_{opt}$ .

Zwischen jeder Alternative  $A_h$  und der optimalen Alternative  $A_{opt}$  wird der Abstand  $d_h = d(A_h, A_{opt})$  berechnet. Die Alternative mit dem kleinsten  $d_h$  ist die beste.

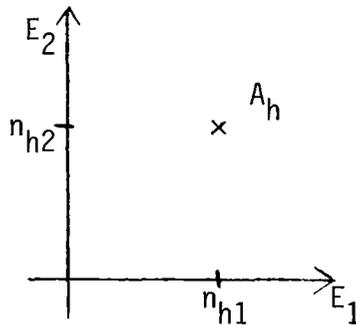
- Euklidnorm

$$d_h = \sqrt{\sum_{j=1}^m (n_{hj} - n_{opt j})^2}$$

- Maximumnorm

$$d_h = \text{Maximum}_{j=1, \dots, m} (n_{opt j} - n_{hj}) .$$

Um ein Gefühl für die Wirkung dieser Mechanismen zu erhalten, sind für den einfachen Fall, daß nur zwei Einzelbewertungen vorliegen, die Kurven gleichen Nutzens aufgezeichnet. Eine Alternative ist in dieser Darstellung durch einen Punkt in dem durch die zwei Einzelbewertungen aufgespannten Raum beschrieben. Erklärung zur Notation:



Die Alternative  $A_h$  hat bezüglich der Einzelbewertung  $E_1$  den Wert  $n_{h1}$ , bezüglich der Einzelbewertung  $E_2$  den Wert  $n_{h2}$ .

In dem folgenden Bild 4.2.2.1 sind die Kurven gleichen Nutzens zu der Alternative  $A_h$  mit  $n_{h1} = 3$  und  $n_{h2} = 2$  dargestellt.

Erklärungen zu Bild 4.2.2.1 (Seite 21):

- a) bei intervall- und absolutfixierter Nutzenaddition
- b) bei punktfixierter Nutzenmultiplikation
- c) cost-value-technique
- d) Optimismus-Pessimismus-Regel mit  $\alpha = 1$  und  $\alpha = 0.75$
- e) Optimismus-Pessimismus-Regel mit  $\alpha = 0.25$  und  $\alpha = 0$
- f) Euklidnorm
- g) Maximumnorm
- \*  $B^+$  bezeichnet den Bereich der besseren Alternativen,  $B^-$  den Bereich der schlechteren Alternativen

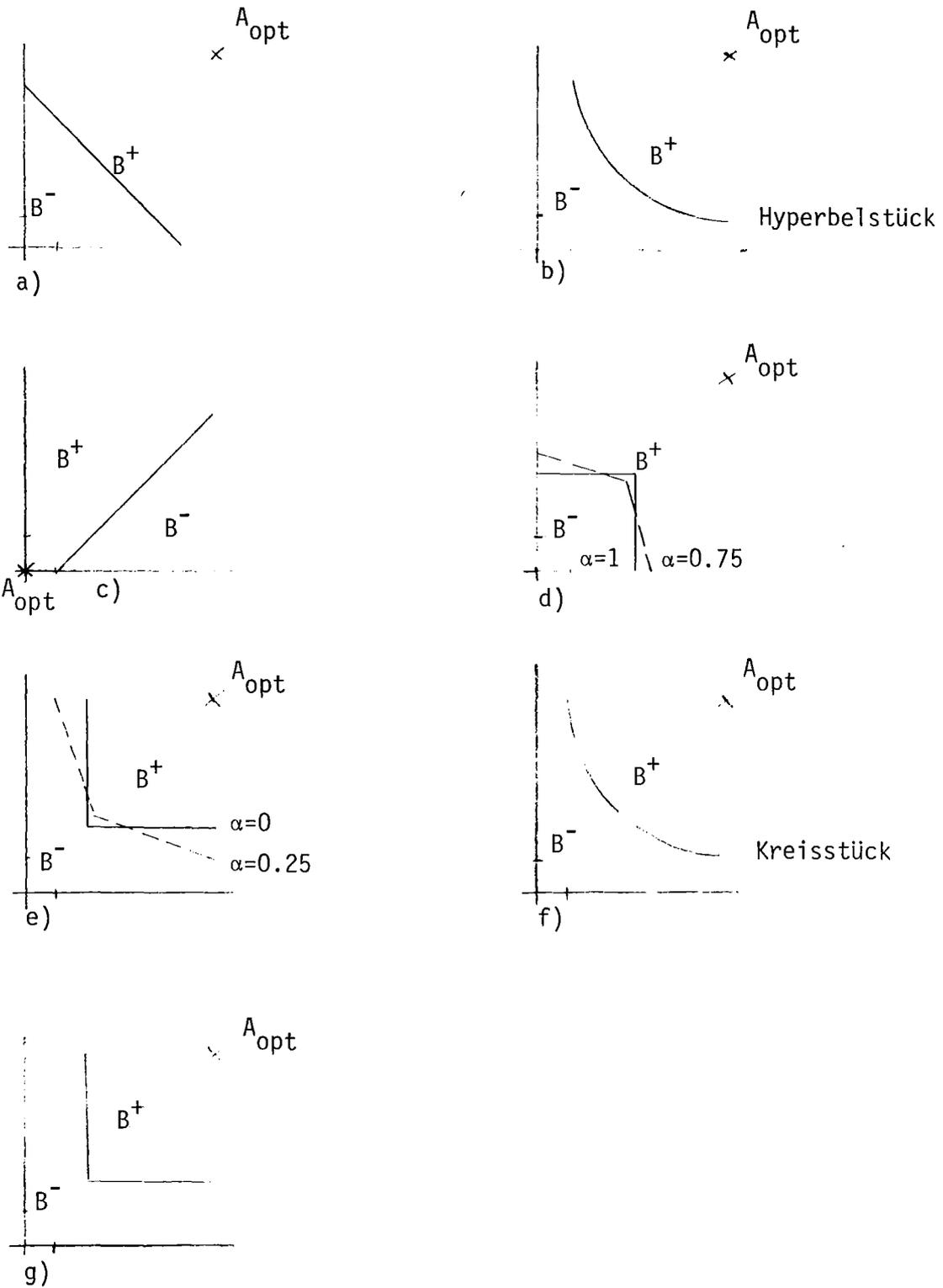


Bild 4.2.2.1: Kurven gleichen Nutzens zur Alternative  $A_h = (3, 2)$

### 4.3 Beispiel

In der Tabelle 4.3.1 sind die Ergebnisse der Einzelbewertung von drei Alternativen bezüglich fünf Kriterien dargestellt. Die Alternativen wurden nominal, ordinal und kardinal gemessen

Alternativen	Kriterien				
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>
A <sub>1</sub>	sehr gut	unbefriedigend	befriedigend	gut	sehr gut
	1	4	3	2	1
	10	1	6	8	9
A <sub>2</sub>	befriedigend	gut	befriedigend	befriedigend	gut
	3	2	3	4	1
	4	7	4	5	8
A <sub>3</sub>	gut	sehr gut	unbefriedigend	sehr gut	befriedigend
	2	1	3	1	3
	7	9	3	9	4

Tabelle 4.3.1: Einzelbewertung dreier Alternativen, jeweils erste Zeile: nominale Bewertung, jeweils zweite Zeile: ordinale Bewertung (die kleinere Ziffer bezeichnet den besseren Rang), jeweils dritte Zahl: kardinale Bewertung (die größere Zahl bezeichnet den besseren Wert)

Auf diese Einzelbewertungen werden die oben genannten Zusammenfassungenregeln angewandt. Die dabei, unter der Annahme, daß die Kriterien gleichgewichtig sind, bestimmten Ergebnisse sind in der Tabelle 4.3.2 dargestellt. Eingetragen sind jeweils die Rangplätze und in Klammern die zur Ermittlung dieser Rangplätze berechneten Werte. Man beachte die unterschiedlichen Ergebnisreihenfolgen.

Alternative \ Regel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A <sub>1</sub>	-	1	1	2(11)	1(1)	2(8)	2(0.084)	1(8)	3(4320)	1(34)	3(1)	3(3.7)	1(6.4)	1(10)	2( $\sqrt{102}$ )	3(9)
A <sub>2</sub>	1	-	3	3(13)	3(-2)	3(6)	3(-0.084)	3(-10)	2(4480)	3(28)	1(4)	1(5.2)	1(6.4)	3(8)	3( $\sqrt{110}$ )	1(6)
A <sub>3</sub>	-	1	1	1(10)	1(1)	1(8.5)	1(0.172)	2(2)	1(6804)	2(32)	2(3)	2(4.8)	3(48)	2(9)	1( $\sqrt{96}$ )	2(7)

Regel 1 Simon-Regel (Grenze = befriedigend)  
 Regel 2 Befriedigung der größten Zahl  
 Regel 3 Majoritätsregel  
 Regel 4 Rangordnungssummenregel  
 Regel 5 Copelandregel  
 Regel 6 Austin-Slight-Regel  
 Regel 7 Thurnstoneregeln

Norminalskalen  
 Ordinalskalen

Regel 8 Intervallfixierte Nutzenaddition  
 Regel 9 Punktfixierte Nutzenmultiplikation  
 Regel 10 Absolutfixierte Nutzenaddition  
 Regel 11 Pessimismus-Optimismus-Regel  $\alpha = 0$   
 Regel 12 Pessimismus-Optimismus-Regel  $\alpha = 0.3$   
 Regel 13 Pessimismus-Optimismus-Regel  $\alpha = 0.6$   
 Regel 14 Pessimismus-Optimismus-Regel  $\alpha = 1$   
 Regel 15 Euklidnorm  
 Regel 16 Maximumnorm

Kardinalskalen

Tabelle 4.3.2: Zusammenfassung der Einzelbewertungen

#### 4.4 Kritik des Bewertungsverfahrens

Gegen die in den letzten Abschnitten (Kap. 4.1 und 4.2) skizzierten Bewertungsverfahren der Nutzwertanalyse kann man im wesentlichen die folgenden Einwände erheben:

- 1.) Die Anwendung eines dieser Verfahren ist weder eine hinreichende noch eine notwendige Bedingung dafür, die dem Problem objektiv angemessene, die objektiv beste Lösung auszuwählen. Es sind höchstens Aussagen möglich der Art, daß bei Verwendung einer bestimmten Methode (also eines bestimmten Skalentyps und eines bestimmten Zusammenfassungsverfahrens) eine Alternative einen besseren Wert erhält als jede andere.
- 2.) In jedes dieser Verfahren gehen subjektiv bestimmte Daten ein, nämlich die Skalenwerte der Einzelbewertungen und die Gewichte dieser Einzelbewertungen. Damit ist eine bewußt manipulierte Ergebnisfindung möglich, und die unbeabsichtigte Verfälschung wird weder verhindert noch aufgedeckt.

Auf diese Einwände kann folgendes erwidert werden.

Zu Punkt 1.)

Durch die Verwendung eines in sich logischen Verfahrens wird die Ergebnisfindung

- a) nachvollziehbar, die Ergebnisse können überprüft werden,
- b) diskutierbar, das Verfahren kann unabhängig von den eingehenden Parametern diskutiert werden,
- c) transparent, ein Verfahren muß bewußt ausgewählt und bewußt angewandt werden.

Das Verfahren dient nicht der Auswahl der objektiv besten, sondern entsprechend den Wertpräferenzen des Entscheidungsträgers der subjektiv besten Alternative.

Zu Punkt 2.)

Der Aufdeckung und Reduktion der Subjektivität dienen folgende Verfahren:

- a) Empfindlichkeitsanalyse: durch systematisches Variieren der Einzelbewer-

tungen und Gewichte versucht man, den Bereich von Eingangsparametern, in dem das Ergebnis stabil bleibt, zu ermitteln,

- b) Urteilswiederholungen: es werden mehrere Personen an dem Auswahlverfahren beteiligt. Damit lassen sich zufallsbedingte, nicht jedoch systematisch begründete Urteilsabweichungen ausmitteln,
- c) Berücksichtigung von Ungewißheiten: ähnlich den Verfahren der Netzplantechnik gehen optimistische, pessimistische und mittlere Werte in das Ergebnis ein,
- d) Berücksichtigung von Ursachen der Urteilsungenauigkeiten. Ungenauigkeiten und systematische Fehler haben ihre wesentlichen Ursachen in:

- Wechselnden Wertaspekten

Die Bewertungskriterien sind zu ungenau definiert. Es kann somit zu individuell verschiedenen Auffassungen bezüglich eines Kriteriums kommen.

- Abweichender Präferenzenstruktur

Die Urteilsmotive der Entscheidungsträger liegen zu weit auseinander, oder der Gedankenaustausch zwischen den Urteilspersonen ist zu gering, um eine hohe Gruppenkonsistenz zu erreichen.

- Geringen Wertunterschieden

Die subjektiv empfundene Distanz zwischen den Vergleichsobjekten ist zu gering, um bei Urteilswiederholungen eine stabile Rangfolge zu erhalten. Man wird hier "schärfere" Skalierungsmethoden anwenden müssen.

- Mangelnder sachlicher Kenntnisstand

Die Urteilserfahrung der Entscheidungsträger ist für das zu lösende Problem zu gering.

## 5. Der endgültige Algorithmus

Das endgültige Verfahren sieht folgendermaßen aus:

```
K = ∅  
for all k ∈ L ⊂ LR do  
  if Eigenschaften(k) umfassen f(amind) oder  
    g(Eigenschaften(k)) umfassen amind  
  then K := K ∪ {k}  
end
```

$$\text{Lösung} = \max_{k \in K} (h(k, a))$$

mit LR Menge aller auf dem Markt erhältlichen Systeme

L eingeschränkte Lösungsmenge

f(...) Menge der Eigenschaften, die durch Transformation der Anforderungen entstanden sind

g(...) Menge der Anforderungen, die durch Transformation der Eigenschaften entstanden sind

a<sub>mind</sub> Mindestanforderungsvektor

a Anforderungsvektor

h Funktion zur Bewertung der Alternativen .

Dieses Verfahren ist eingebettet in den im folgenden Abschnitt beschriebenen Gesamtablauf der Rechnerauswahl.

## 6. Organisatorische Durchführung der Rechnerauswahl

Unter Berücksichtigung der Anregungen aus /Joslin 68/, die auf Erfahrungen aus einer Tätigkeit beim EDP Equipment Selection Office der USA Air Force beruhen, wird die folgende Ablauforganisation für die Rechnerauswahl vorgeschlagen:

### a) Informelle Kontakte

Nach einer groben Festlegung der Anforderungen an das geplante System werden mit verschiedenen Herstellern Lösungsmöglichkeiten und -alternativen diskutiert. Das ist die einzige Phase, in der den Herstellern eine direkte Beeinflussung auf die Auswahl zugestanden werden sollte.

### b) Festschreiben der Anforderungen und des Bewertungsvorhabens

Nach diesen Diskussionen werden die Anforderungen und das Bewertungsverfahren festgeschrieben. Das Leistungsverzeichnis (Liste der Anforderungen), der für die Bewertung verwendete Skalentyp und das Zusammenfassungsverfahren, die Art und Weise der Einzelbewertung und die Gewichtung der Anforderung gehen ein in die

### c) Ausschreibung

Diese sollte darüberhinaus enthalten:

- Forderungen bezüglich der Unterstützung durch den Hersteller, z.B. Schulung, Programmierleistung, Wartungsumfang.
- Evtl. Benchmarkdaten oder Anforderung von Präsentationen.
- Termin einer Besprechung zur Erläuterung der Anforderungen.
- Termin, bis wann die Hersteller grundsätzlich zusagen, Angebote abgeben zu wollen.
- Termin für die Angebotsabgabe.
- Termin, bis zu dem der Anwender die Kaufentscheidung gefällt haben will.
- Festlegung von Verfahren, wie die während der Auswahl entstehenden Fragen geklärt werden und in welcher Form die Hersteller ihr Angebot erläutern.
- Vertragsbedingungen.
- Bemerkungen, z.B. Form des Angebots.

d) Information der Anbieter durch den Anforderer

In den meisten Fällen reicht den Anbietern die in der Ausschreibung enthaltene Information für die Angebotserstellung nicht aus. Deshalb wird zweckmäßigerweise ein Gespräch vereinbart, in dem allen Anbietern die Ausschreibung erläutert wird und Fragen beantwortet werden. Für auftretende Probleme wird eine Kontaktstelle benannt.

e) Information des Anforderers durch den Anbieter

Nach Abgabe der Angebote sollten die Anbieter Gelegenheit erhalten, ihre Vorschläge in Form einer Vorführung zu erläutern. Dabei können Fragen, die bei einer ersten Analyse der Angebote entstanden, sofort geklärt werden. In jedem Falle ist darauf zu achten, daß die Aussagen der Hersteller über ihre Angebote belastbar sind und ggf. in den Kaufvertrag aufgenommen werden.

f) Analyse und Bewertung der Angebote

Nach der Angebotseröffnung und der Klärung offener Fragen werden nach dem in der Ausschreibung beschriebenen Auswahlverfahren die Angebote bewertet.

g) Auftragsvergabe

Ausgehend von der Bewertung, bei der unter Berücksichtigung technischer und nicht-technischer Kriterien eine Empfehlung erarbeitet wurde, ist die Auftragsvergabe einzuleiten. Die Rechtsabteilung und/oder die Abteilung Einkauf sorgt für den korrekten Vertrag und die Entscheidungsträger geben ihr Plazet.

h) Absagen an die Anbieter

Den Verlierern der Auswahl sollten die Gründe offengelegt werden, die zu einer Ablehnung ihres Angebots führten. Diese Aufgabe ist umso weniger unangenehm, je transparenter das Auswahlverfahren in der Ausschreibung dargestellt wurde.

## 7. Schlußbemerkung

Dieser Bericht beschränkt sich auf die Aufgabenstellung der Rechnerauswahl. Die beschriebenen Lösungsansätze sind jedoch in gleicher Weise auf die Auswahl von bereits vorhandenen Softwareprodukten anwendbar /Frank 77/. Weiterhin sieht man, daß die beschriebenen Probleme (Festlegung der Anforderungen, Bestimmung von Lösungen, Überprüfung der Eignung dieser Lösungen, Auswahl der besten Lösung) auch bei der Erstellung von Software gelöst werden müssen. Es scheint daher sinnvoll, mit weiteren Arbeiten die für den jeweiligen Bereich typischen Lösungsansätze zu vergleichen und geeignet zu kombinieren. Damit ergäbe sich ein integrierter Lösungsansatz für den Entwurf von anwendungsbezogenen Datenverarbeitungssystemen.

## 8. Literatur

- /Auerbach/ Auerbach Computer Technology Reports; Auerbach Publishers Inc., Philadelphia, Pennsylvania
- /Bendeich 76/ E. Bendeich, J. Kölle: Projektierungshilfsmittel beim Einsatz von Prozeßrechnern für Stückgutprozesse in der Fertigungstechnik, KfK-PDV 97, Oktober 1976
- /Bendeich 75/ E. Bendeich, W. Scheytt: Auswahl von Prozeßrechnersystemen für den Fertigungsbetrieb; Werkstatt-Technik - Zeitschrift für industrielle Fertigung, Band 65 (1975), S. 351-359
- /Chandler 77/ John S. Chandler, Thomas G. de Luti: A methodology for multi-criterion information system design; National Computer Conference (NCC), Dallas, Texas, June 13-16, 1977. Montvale, N.Y. . AFIPS Press 1977, pp. 895-905
- /Compten 75/ Compten (ed.): SCERT 1976 Student Workbook, Rockville Md. 1975
- /Computer 78/ Computer Review; Vol. 18 (1978), GML Corporation 1978
- /Diruf 71/ Günther Diruf: Entscheidungsmodelle für die Auswahl von Computersystemen; Diss. TU München 1971
- /Frank 77/ Joachim Frank: Standard-Software; Verlagsgemeinschaft Rudolf Müller, Köln 1977
- /Fuller 77/ Samuel H. Fuller, Harold S. Stone, William E. Burr: Initial selection and screening of the CFA candidate computer architectures; National Computer Conference (NCC), Dallas, Texas, June 13-16, 1977. Montvale, N.Y., AFIPS Press 1977, pp. 139-146
- /Greiller 74/ R. Greiller, B.A. Meyer-Bender: Die Ausschreibung eines Datenverarbeitungssystems; Computer-Praxis 1974, Teil 1: Heft 2, S. 44-51, Teil 2: Heft 4, S. 112-117
- /Heinrich 75/ L. Heinrich: Planung des Datenerfassungssystems; Verlagsgemeinschaft Rudolf Müller, Köln 1975

- /Joslin 68/ E.O. Joslin: Computer Selection; Addison-Wesley, Reading, Massachusetts 1968
- /Lauber 74/ Rudolf Lauber: Leistungskriterien von Prozeßrechnersystemen; in: G. Krüger, R. Friehmelt (ed.), Fachtagung Prozeßrechner 1974, S. 587-601
- /PSI 78/ PSI (ed.): COMTEST 78; Ges. für Prozeßsteuerungs- und Informationssysteme mbH, Berlin 1978
- /Rinza 77/ Peter Rinza, Heiner Schmitz: Nutzwert-Kosten-Analyse; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977
- /Scheer 78/ A.-W. Scheer: Ein Optimierungsmodell zur Hardwareauswahl; Angewandte Informatik 1978, Heft 3, S. 104-111
- /Scheller 74/ Peter Scheller: Systematische Untersuchungen bisheriger Anwendungen der Nutzwertanalyse zwecks Bestimmung der Möglichkeiten und Grenzen dieser Bewertungsmethode; Technische Universität Berlin, Brennpunkt Systemtechnik, Bericht 2/1974
- /VDI 75/ VDI-Gemeinschaftsausschuß Wertanalyse: Wertanalyse: Idee-Methode-System; VDI-Verlag, Düsseldorf 1977
- /VDI-VDE 75/ VDI-VDE-Gesellschaft für Meß- und Regelungstechnik: VDI/VDE-Richtlinie 3552 (Entwurf) - Leistungskriterien von Prozeßrechnersystemen; September 1975
- /Wagner 77/ J. Wagner, E. Lieblein, J. Rodriguez, H. Stone: Evaluation of the software bases of the candidate architectures for the military computer family; National Computer Conference (NCC), Dallas, Texas, June 13-16, 1977. Montvale, N.Y. AFIPS Press 1977, pp. 175-183
- /Zangemeister 71/ Christof Zangemeister: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik; Wittemann'sche Buchhandlung, München 1971