

Wojciech Tarnowski
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

VERALLGEMEINERTES MODELL EINES AUSWAHLPROZESSES FÜR DEN TECHNISCHEN ENTWURF

Zusammenfassung: In der Arbeit wurde die Auswahlaufgabe formuliert. Die Variantenmenge A , die Anspruchs Menge \mathcal{R} und ihrer Formalisationsmethode charakterisiert wurde. Die Struktur des Auswahlverfahrens wurde für zwei Fälle: endliche, nicht sehr zahlreiche Variantenmenge und sehr zahlreiche / endliche oder unendliche / Variantenmenge vorgeschlagen. Die einzelnen Prozeduren des Auswahlverfahrens wie das Bestimmen der Bewertungskriterien und das Definieren des skalaren Optimalitätskriteriums beschrieben wurde. Die letzte Prozedur für deterministischen und probabilistischen Fälle vorgeschlagen wurde. Auch die Methode für das Bestimmen der Gewichtungskoeffizienten vorgestellt wurde.

1. Einleitung

Im Zuge eines Entwurfsprozesses treten viele Entscheidungssituationen auf, die oftmals von großer Bedeutung für das Projektergebnis sein können: [6], [2]. Im allgemeinen können als Gegenstand der Entscheidung ein Objekt, ein Subjekt oder das Projektierungsverfahren auftreten, so daß der Projektant oder auch ein anderer Entscheidungsberechtigter zu beantworten gezwungen ist:

- Was ist weiter zu entwerfen oder zu verwirklichen?
- Wie sind die Aufgaben zu lösen?
- Wer führt die Arbeiten durch?

Eine Analyse von verschiedenartigen Entscheidungssituationen führt zu dem Schluß, daß ein rationeller Entscheidungsprozeß generell immer derselbe ist, und daß es möglich ist, diesen im Sinne einer Formulierung zu beschreiben mit Hilfe von detaillierten, zum Gebiet der angewandten Mathematik gehörenden Methoden und Theorien der Operationsforschung (Entscheidungstheorie, Optimierung, Prognosemethoden, Spieltheorie, Netzplantechnik, Warteschlangentheorie usw.).

Im folgenden wird der Vorschlag für ein allgemeines Modell des Auswahlprozesses vorgestellt, wobei die kennzeichnende Wirkung des Modells besonders herausgestellt werden. Am Beispiel einer konkreten Aufgabe wird eine Methode zur Optimierungskriteriums abgeleitet, welche auch für eine

probabilistische Beschreibung des Prozesses anwendbar ist.

2. Symbolverzeichnis

- a_p, b_p - unterer und oberer Zulässigkeitswert des p-ten Konstruktionskennzeichens;
 a_r, b_r - unterer und oberer Zulässigkeitswert der r-ten Konstruktionseigenschaft;
 f_{ir} - Wahrscheinlichkeitsdichtenfunktion des i-ten Abschätzungskriteriums für die r-te Konstruktionsvariante;
 $\underline{S}_g, \overline{S}_g$ - unterer und oberer Wert der Variablen S_g ;
 $S_i, l=\overline{1, L}_g$ - bestimmte herausgehobene Zustände der zuvor digitalisierten Variablen S_g ;
 u_i - Präferenzfunktionswert $u_i \in [0, 1]$;
 w_i - Gewichtskoeffizientenwert des i-ten Abschätzungskriteriums;
 $A = \{a\}$ - gegebene Variantenmenge (Konstruktionsvarianten, Lösungsvarianten);
 $D = \{d\}$ - Menge der korrekten Varianten, $D \subset A$;
 $D = \{d_v; v=\overline{1, V}\}$ - Menge der korrekten digitalisierten Varianten;
 d_0 - optimale Variante;
 d_s - befriedigende Variante;
 P - Menge der polyoptimalen (effektiven, nicht zu verbessernden, kompromißartigen, Pareto) -Varianten;
 S - formalisierte Menge der Anforderungen;
 $K = \{k_i; i=\overline{1, I}\}$ - Menge der Bewertungskriterien;
 F - Aufgabenoptimierungskriterien, Skalar;
 $X = \{X_p; p=\overline{1, P}\}$ - Menge der Konstruktionskennzeichen (der unabhängigen Variablen, Entscheidungsvariablen);
 $Y = \{Y_r; r=\overline{1, R}\}$ - Menge der Konstruktionseigenschaften (der erzielten Erfolge, der Qualitätsmerkmale, der abhängigen Parameter);
 ϕ - übergeordnetes Optimierungskriterium unformalisiert, (beschreibend);
 Ω - Menge der Anforderungen und Beschränkungen (beschreibend);
 X_p - Menge der Kennzeichenwerte X_p ;
 Y_r - Menge der Eigenschaftswerte Y_r ;
 k_{iv} - Abschätzungswert k_{iv} für die v-te Variante a_v ;

3. Formalisierung der Auswahl Aufgabe

Im Ergebnis einer Strukturanalyse des Entwurfprozesses [6] ist erkennbar, daß einer jeden rationalen Entscheidungsfindung ein Auswahlprozeß vorausgeht. Die Auswahl bezeichnet einen Vorgang der Informationssammlung und Informationsverarbeitung mit der Absicht, aus der gegebenen Variantenmenge A ein einziges Element zu ermitteln, welches alle Anforderungen Ω erfüllt und gleichzeitig das beste Element im Sinne eines Auswahlkriteriums Φ ist. Die Auswahl Aufgabe ist - im heuristischen Sinne - durch die Vorgabe der Mengen A , Φ und Ω eindeutig bestimmt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei realen Entwurfsprozessen die Elemente der drei Mengen nicht vollzählig vorliegen oder unsicher sind, so daß dem Projektanten die Möglichkeit gegeben sein muß, sich während der Bearbeitung zusätzliche Informationen zu beschaffen (Bild 1).

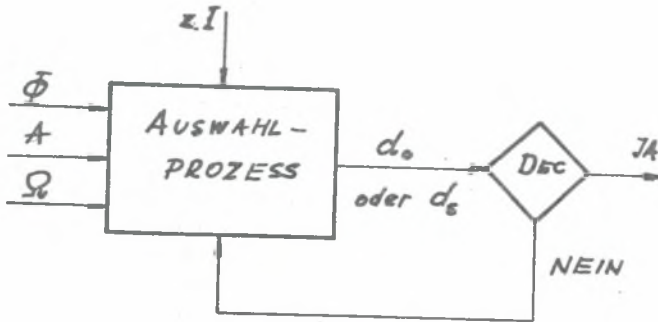


Abb. 1

Bild 1. Einstufiger Auswahlprozeß beim Entwurf als Informationsverarbeitungsprozeß

- | | |
|----------|--|
| Φ | - Menge der Auswahlkriterien |
| A | - Menge der Entwurfsvarianten |
| Ω | - Menge der Entwurfsanforderungen |
| d_0 | - optimale Variante im Sinne des Kriteriums |
| d_s | - befriedigende Variante |
| I | - zusätzliche Information die während des Auswahlprozesses gewonnen werden |
| DEC | - Entscheidung |

3.1. Die Menge der Entwurfsvarianten (Konstruktionsversionen)

Die Elementenmenge A ist eine Möglichkeitsmenge von Varianten. Im

Entwurfsprozeß gehören zu dieser Menge:

- die möglichen vorbereiteten Lösungsarten der Projektierungsaufgabe oder ihrer Teile;
- die mögliche Liste der Projektanforderungen (wenn der Projektant die Anforderungen bestimmt);
- die möglichen Verfahrensweisen im Entwurfsprozeß (z. B. Suchmethoden der Lösungen);
- die mögliche Zusammensetzung des Projektierungskollektives oder die Menge anderer Möglichkeiten, die dem Entscheidungsberechtigten verfügbar sind. Es wird vorausgesetzt, daß alle Varianten in dem Sinne korrekt sind, daß sie keine Fehler enthalten.

Die einzelnen Elemente der Menge A können im Raum der Konstruktionskennzeichen

$$X = \{X_p; p = \overline{1, P}\}$$

$$Y = \{Y_r; r = \overline{1, R}\}$$

oder auch im Raum der Konstruktionseigenschaften bestimmt werden. Da jedoch die Beschränkungen Ω existieren, hat man es immer mit einer beschränkten endlichen Menge zu tun. Da die Konstruktionseigenschaften X_p stetig oder diskrete Größen sein können, ist die Menge A entweder stetig oder abzählbar diskret. Um eine Möglichkeit numerischer Berechnungen zu schaffen, wird man oft gezwungen, die Menge der Varianten zu diskretisieren. In manchen Fällen ist die Variantenmenge unformalisiert gegeben, d. h. die einzelnen Versionen sind mit Hilfe von linguistischen Variablen verbal charakterisiert.

3.2. Entwurfsanforderungen

Alle Beschränkungen, die die Projektvariablen betreffen, werden im weiteren Entwurfsanforderungen genannt. Am Anfang sind sie (ganz oder teilweise) in der Gestalt einer Beschreibung oder unscharf und manchmal sogar in einer völlig undefinierten Form gegeben. Die Anforderungsmenge wird mit S bezeichnet. Die Anforderungen können die einzelnen Variablenwerte X_p , Y_r oder auch deren Funktionen betreffen. Die Anforderungen können in Form von Gleichungen oder Ungleichungen vorliegen, z. B.:

$$S = \begin{cases} a_p \leq x_p \leq b_p & : p = \overline{1, P} & (a) \\ a_r \leq y_r \leq b_r & : r = \overline{1, R} & (b) \\ x_p = c_p & & (c) \\ y_r = c_r & & (d) \\ a_k \leq g_k = g_k(x_p, x_r) \leq b_k & : k = \overline{1, K} & (e) \\ f_l = f_l(x_p, y_r) = c_l & : l = \overline{1, L} & (f) \end{cases} \quad (1)$$

wobei a_i, b_i, c_i $i = p, r, k, l$ konstante Größenwerte sind. In den Variablenmengen X und Y werden nur diese Variablen mit einbezogen, welche für die gegebene Auswahl Aufgabe wesentlich sind. Dies bedeutet, daß in die Konstruktionskennzeichenmenge nur diejenigen Kennzeichen einbezogen werden, welche die minimale Entscheidungsvariablenmenge bilden und dabei für die eindeutige Kennzeichnung der einzelnen Varianten ausreichen. Hierzu kommen die Kennzeichen, für welche die Beschränkungen in Form (1 a) bezüglich X_p gelten, z. B. technologische bzw. Materialbeschränkungen. Nicht berücksichtigt wurden die Kennzeichen, die zu einer ausführlichen Beschreibung der Varianten führen, oder die nicht variiert werden, weil ihre Werte als konstant angenommen werden sind (1 c).

In die Konstruktionseigenschaftenmenge werden nur diejenigen Eigenschaften einbezogen, für welche entweder Beschränkungen in Form (1 b) und (1 d) bezüglich der Großen X_r existieren oder welche für die Formalisierung des Wertesystems ausgenutzt werden. Die Zusammenhänge (1 a) und (1 b) bedeuten, daß für manche der Variablenwerte Beschränkungen eingeführt werden sind, d. h. daß sich die Variablenwerte in bestimmten zulässigen Wertebereichen befinden sollen. Die Gründe dafür können physikalischer (technischer), ökonomischer oder ergonomischer Natur sein.

Einen ähnlichen Charakter hat die Beschränkung (1 e), mit dem Unterschied, daß sie die Zusammenhänge zwischen den physikalischen Variablen betrifft und nicht die Variablen selbst. Dabei sind diese Zusammenhänge oft nichtlinear wie z. B. die Widerstandsfähigkeit eines Systemes bezüglich erzwungener Gehäuseschwingungen, die so bemessen werden soll, daß dieses System funktionsfähig ist, wenn die wirklichen Amplituden- und Frequenzwerte in einem bestimmten, durch Standards vorgegebenen Bereich liegen. Dieser Bereich ist von oben durch eine gewisse Funktion $y_1 = y_1(y_2)$ begrenzt, wobei y_1 und y_2 die zulässigen Werte der Amplitude und Frequenz sind.

3.3. Das übergeordnete Kriterium Φ

Das übergeordnete Kriterium Φ wird durch eine Formel abgebildet, die das Wertesystem des Entscheidungsberechtigten bezüglich der Menge A beschreibt und seine Wünsche bevorzugt bestimmt. Dieses Kriterium ist oftmals nur verbal beschreibbar, wobei unscharfe Begriffe enthalten sein können, wie z.B. "leichte Bedienbarkeit und niedrige Kosten".

3.4. Die zufriedenstellende Lösung

In der Praxis tritt oftmals der Fall auf, daß der Projektant auf Grund von Beschränkungen (z. B. Endtermin der Projektierung), die für

den Entwurfsprozeß vorgegeben sind, nicht in der Lage ist, das absolute (globale) Optimum zu bestimmen. In einem solchen Fall ist eine hinreichend gute Lösung d_s bestimmbar, die folgende Bedingungen erfüllt:

- für alle Bewertungskriterien k_i sind die Werte nicht schlechter als gewisse Schwellwerte k_{id} ;
- der Wert F für das Zielkriterium der vorliegenden Aufgabe ist nicht schlechter als ein gewisser Minimalwert F_s .

In einem konkreten Fall können mehrere solcher Lösungen existieren.

3.5. Anforderungen an den Auswahlprozeß

Der Auswahlprozeß unterliegt einer Reihe von Bedingungen und Beschränkungen, z. B.

- ungenügende, d. h. unvollständige oder/und unpräzise Eingangsinformationen;
- beschränkte Mittel zur Realisierung des Auswahlprozesses (Zeit, finanzielle Mittel, Informationszugänglichkeit, Verfügbarkeit von Experten usw.);
- unzureichende Qualifikation des Projektanten;
- bestehende Notwendigkeit, zwischen einander widersprechenden Anforderungen einen rationellen Kompromiß zu finden.

Gleichzeitig werden an den Auswahlprozeß und seine Ergebnisse eine Reihe von Anforderungen gestellt. Dazu gehören u. a.:

- Anpassung an die vorgegebene Situation, d. h. Anpassung an die Spezifik der zu lösenden Aufgabe und an die Möglichkeiten und Fähigkeiten des Projektierungskollektivs;
- Eindeutigkeit und Wiederholbarkeit der Aufgabe;
- Lösbarkeit der Aufgabe bei vorgegebenen Eingangsinformationen;
- Überzeugungskraft der Ergebnisse für den zuständigen, mit der Entscheidung beauftragten Leiter, der nicht immer ein Fachmann für die spezielle Fragestellung sein muß;
- Verständlichkeit der Darlegung der Resultate und des Auswahlvorganges für Zwecke einer schrittweisen Nachprüfung und des Lernens durch andere.

4. Struktur des Auswahlprozesses

Die Auswahl ist ein komplizierter Prozeß, der in einfachere Teilprozesse zerlegt werden kann. Jedem Teilprozeß kann eine Menge von Methoden zugeordnet werden, die ihrem Wesen nach heuristisch sind. In je-

dem konkreten Fall solle die Handlungsstrategie die Bedeutung der Aufgabe, die Eingangsinformationen und den Kompliziertheitsgrad der Aufgabe berücksichtigen.

Es ist prinzipiell möglich, eine allgemeine Struktur für den Auswahlprozeß anzugeben [7]; es erscheint jedoch zweckmäßig zwei Arten von Auswahlprozeßstrukturen zu unterscheiden:

- a für eine stetige, beschränkte Variantenmenge (Bild 2),
- b für eine discrete beschränkte Variantenmenge (Bild 3).

Diese beiden Strukturen sind mit folgenden Aktivitäten verbunden:

1. Aufstellung von Listen, welche die Entscheidungsvariablen X (Konstruktionskennzeichen, unabhängige Variable), die Konstruktionseigenschaften Y (erzielte Erfolge, unabhängige Variable) und die in der vorgegebenen Aufgabe als unveränderlich aufgenommene Parameter enthalten.
2. Aufstellung einer Liste der Bewertungskriterien

$$K = \{k_i : i = \overline{1, I}\} \quad (\text{s. S. 11})$$

- 3a. Aufstellung eines mathematischen Modells für die Variantenmenge:

$$f_s(x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_R) = 0; s = \overline{1, S} \quad (2)$$

Diese Modelle beinhalten Definitionen und physikalische oder ökonomische Zusammenhänge.

- 3b. Mathematische Formulierung der diskreten (endlichen) Variantenmenge $A = \{a_v; v = \overline{1, V_0}\}$ in den Kategorien der diskreten (digitalen) Entscheidungsvariablen $X_p, p = \overline{1, P}; a_v = a_v x_1, \dots, x_p$.

Die Variantenmenge A ist das cartesische Produkt der Wertemengen x_p

$$A = \{x_1\} \times \{x_2\} \times \dots \times \{x_p\} \quad (3)$$

In einem bestimmten Falle kann nur eine Variable x_i auftreten, z. B. die laufende Nummer der Variante.

- 3c. Bewertung der Varianten a_v hinsichtlich der Kriterien k_i , d. h. Bestimmung der k_{iv} oder der zugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung $f k_{iv}$ bzw. der unscharfen Bewertungen

$$P k_{iv}, i = \overline{1, I}, v = \overline{1, V_0}.$$

Die Schritte 3a, 3b, 3c zielen auf die Verbindung der unabhängigen Entscheidungsvariablen X mit den abhängigen Variablen Y mit der Möglichkeit, die Variantenmenge aus dem Raum der Entscheidungsvariablen in den Raum der Bewertungskriterien (Zielraum) zu transformieren.

4. Mathematische Formulierung der Anforderungen und Beschränkungen, das heißt Auflistung der Menge Ω in Form einer Menge der Gleichun-

$g \neq n$ und Ungleichungen S .

Die Notwendigkeit der mathematischen Formulierung von Anforderungen ist dadurch begründet, daß viele von ihnen nur als verbale Beschreibung gegeben sind, andere neu formuliert werden müssen und bisher unberücksichtigt gebliebene Anforderungen nach Berücksichtigung finden müssen.

Zu dieser Gruppe gehören auch diejenigen Anforderungen, welche die Qualität der physikalischen Realisierung des Objektes garantieren einschließlich der technologischen Möglichkeit des Ausführenden, der Materialverfügbarkeit usw. sowie die Anforderungen an die fachlichen Fähigkeiten des Projektierungskollektivs. In den interessierenden realen Fällen von Entwurfsprozessen sind fast alle Variablen beschränkt.

5. Auswahl der Einzelprozesse im Hinblick darauf, aus der Gesamtmenge A eine Untermenge der zulässigen Varianten $D \subset A$ zu gewinnen. An diese Untermenge sind folgende Forderungen zu stellen:
 - sie darf mit keinen logischen Fehlern behaftet sein;
 - sie muß alle Anforderungen S erfüllen.
6. Bestimmung der Zielfunktion F . Danach Übergang zu Punkt 8. Ist die Bestimmung von F nicht möglich, erfolgt Übergang zu Punkt 7.
7. Ermittlung einer Menge von nicht vollständigen, aber nicht mehr verbesserungsfähigen Lösungen $P \subset D$ (effektive Lösungen, Pareto [4]).
8. Optimierung oder Bestimmung einer Variante d_0 aus der Menge der korrekten Varianten D , für welche der Wert der Zielfunktion V dem besten möglichen Wert entspricht:

$$d_0 = \left\{ d \in D : \left\{ F(d) = \sup_D F(d) \right\} \right\} \quad (4)$$

oder Bestimmung einer zufriedenstellenden Variante

$$d_s = \left\{ d \in D : \left\{ F(d) \geq F_s \right\} \right\} \quad (5a)$$

bzw.

$$d_s = \left\{ d \in D : \left\{ \bigwedge_{i \in \overline{1, I}} k_i(d_s) \geq k_{id} \right\} \right\} \quad (5b)$$

9. Entscheidung. Darunter ist ein willkürlicher Entschluß zu verstehen, der im Hinblick auf das Ergebnis des Auswahlprozesses (d.h. d_0 oder d_s) zu fassen ist.

Die Entscheidung wird vom Menschen intuitiv getroffen, da alle formalisierbaren Sachverhalte und Prozesse in die vorangegangenen Arbeitsetappen verlagert werden. Für die Entscheidungsfindung sind folgende Alternativen verfügbar:

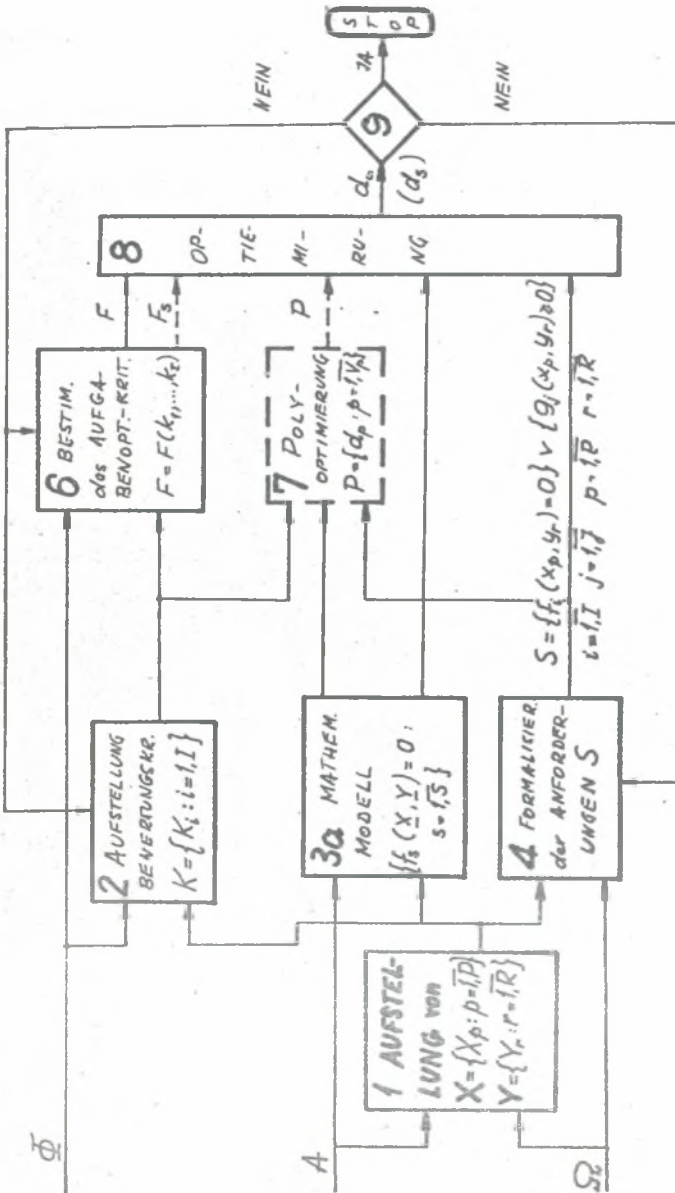


Abb. 2

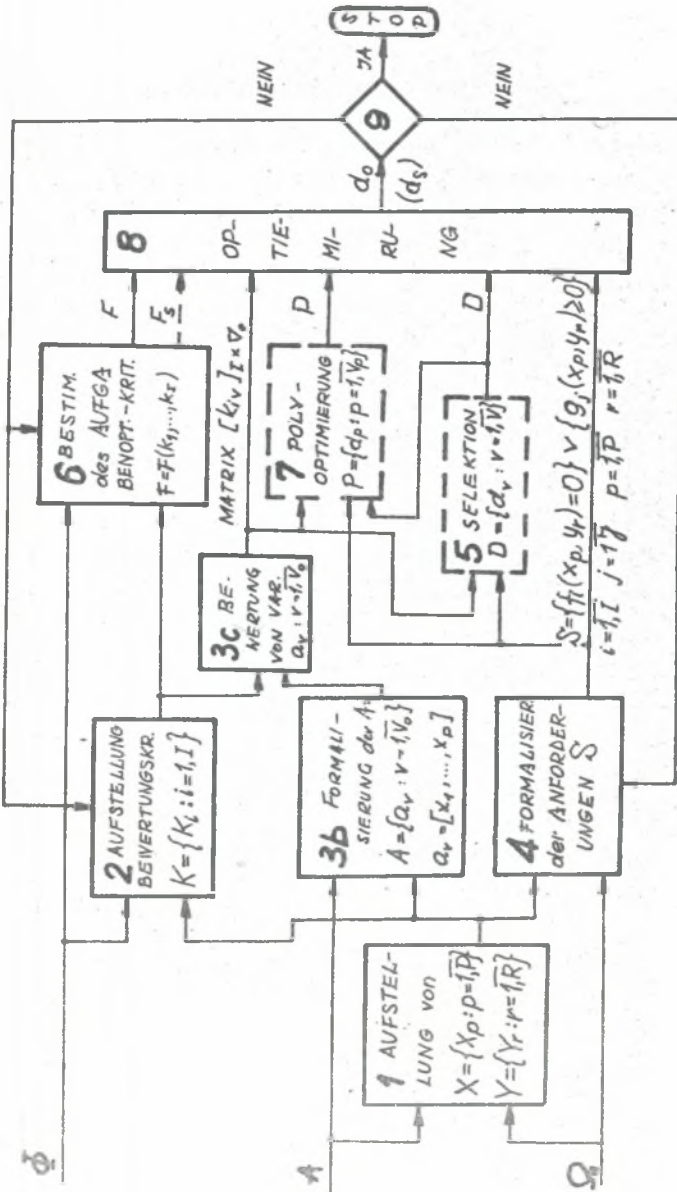


Abb. 3

- JA , d. h. "Ich bestätige die Ergebnisse der vorherigen Bearbeitungsetappen, insbesondere die optimale Lösung d_0 ".
- NEIN , d. h. "Ich bestätige nicht", mit der möglichen Angabe von Gründen und Empfehlungen bezüglich notwendiger Korrekturen.
- STOP , d. h. "Die Entwurfsarbeiten sind zu unterbrechen".

In beiden Fällen (a und b, bzw. Bild 2, 3) ist die Suche nach der Menge P (Effektivvariantenmenge, Punkt 7) nicht erforderlich, wodurch die Optimierung erleichtert und die Berechnungen verkürzt werden. In Verbindung mit bestehenden Schwierigkeiten bei der Formulierung der Zielfunktion F führt dabei ein einfacher Weg zur intuitiven Auswahl.

Für den Auswahlfall aus einer endlichen Menge (Bild 3) entfällt auch die Aktivität nach Punkt 5.

Eingangsgroßen für die Aktivität nach Punkt 8 Optimierung sind

F, A, S - wenn vorher weder Selektion noch Polyoptimierung vorgenommen wurden;

F, D - wenn keine Polyoptimierung vorgenommen wurde

F, P - wenn vorher Selektion und Polyoptimierung durchgeführt wurde.

Vor einer Polyoptimierung sollte eine Selektion vorgenommen werden.

Bei der Suche nach einer zufriedenstellenden Lösung ist auch der Wert F_S einzuführen.

5. Bewertungskriterien

Als Bewertungskriterien $k_i : i = \overline{1, I}$ bezeichnen wir diejenige Menge der Größen, welche die Argumente eines übergeordneten Kriteriums ϕ darstellen. Da keine gleichbedeutende Formulierung dieses Kriteriums verlangt wird, kann die Aufstellung der Liste dieser Bewertungskriterien im allgemeinen eine schwierige Aufgabe sein, die heuristisch realisiert wird. Die Menge dieser Kriterien ist stets eine Untermenge der Konstruktionseigenschaften Y. Die Kriterien sind ein partielles Maß für die Qualität des Objektes unter Berücksichtigung des vorher verwendeten übergeordneten Optimierungskriteriums ϕ . An die Bewertungskriterien werden folgende Anforderungen gestellt:

- a) Sie müssen aus dem übergeordneten Kriterium ϕ abgeleitet sein und ϕ vollständig beschreiben.
- b) Sie müssen definiert und meßbar sein.
- c) Sie müssen bewertbar sein, d. h. es muß die Möglichkeit zum Bewerten aller Varianten unter Berücksichtigung aller Kriterien gegeben sein.
- d) Sie müssen in der gegebenen Phase der Projektbearbeitung für alle Varianten anwendbar sein.
- e) Sie müssen voneinander unabhängig sein.

f) Die Anzahl der Kriterien I soll möglichst klein sein.

Nachfolgend werden Prinzipien angegeben, welche die Aufstellung der Liste der Kriterien erleichtern können. Wir gehen dabei davon aus, daß ein übergeordnetes Optimierungskriterium Φ , alle Beschränkungen Ω und die Menge der Lösungen A gegeben sind. Es sind nacheinander folgende Bearbeitungsschritte durchzuführen:

- 1) es wird eine Anfangsliste, der Kriterien aufgestellt;
- 2) es ist zu überprüfen, ob alle Kriterien mit den vorgegebenen Anforderungen übereinstimmen;
- 3) Reduktion der Primärliste im Hinblick auf den Ausweis von nicht mehr als 7 bis 9 Kriterien.

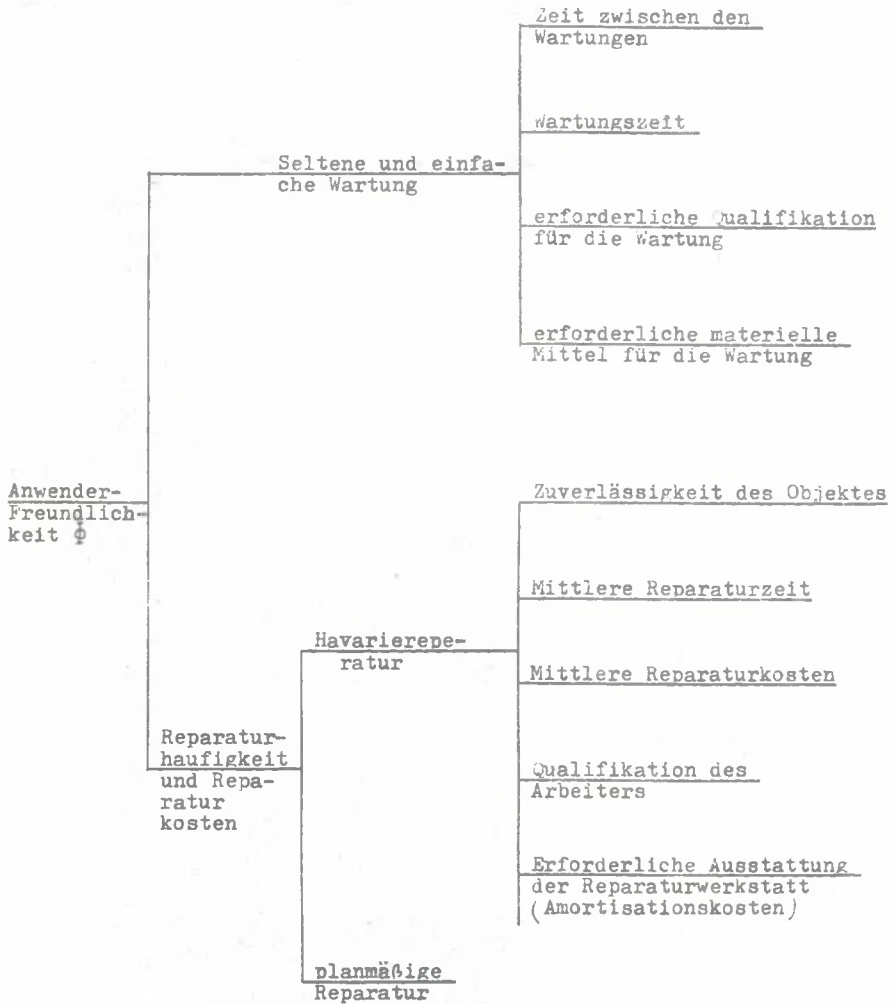
Im Zusammenhang mit der Aufstellung der Primärliste (Punkt 1) sind folgende methodischen Empfehlungen zu geben:

- Einsichtnahme in die Liste der Forderungen und Beschränkungen bei der gegebenen Projektierungsaufgabe;
- Kenntnisnahme von Standardanforderungen, die für eine gegebene Klasse von Objekten bestehen und die aus Normen, Standards, Vorschriften und anderen Konstruktionsarbeiten abzuheben sind;
- Anwendung der Methode der Ereignisse und ihrer Kopplungen [8];
- Anwendung der Zielbaummethode [1].

Die Methode der Ereignisse und ihrer Kopplungen besteht darin, daß man eine Menge aufeinanderfolgender Entwicklungsetappen der vorgegebenen Konstruktion aufstellt: Projektierung, Fertigung, Montage, Inbetriebnahme, Nutzung usw., sowie eine Menge von Elementen bildet, welche die Gesamtheit der "Umgebung" des Konstruktionsobjektes beschreiben, z. B. mit dem Objekt verbundene technische System, Räume, Bedienungspersonal und sonstiges Personal, die natürliche und die kulturelle Umwelt usw. Nach dieser erfolgten Zusammensetzung werden die paarweise bestehenden Relationen zwischen den Einzelementen ermittelt. Diese Kopplungsbeziehungen können aus Prozessen oder Ereignissen bestehen (Bedienungsvorschriften, Einwirkung des Objektes auf das Grundwasser usw.). Durch Analyse dieser Zusammenhänge wird unter Berücksichtigung des übergeordneten Optimierungskriteriums die Liste der Kriterien ergänzt. Diese Methode ist besonders dann nützlich, wenn Objekte zu projektieren sind, bei denen wenig Erfahrung vorliegt sowie bei der Prüfung der Kriterienliste auf Vollständigkeit.

Die Zielbaummethode besteht im Aufbau eines Zielgraphen (Baum), wobei das Optimierungskriterium durch den Baumstamm dargestellt wird. Die Äste des Baumes entsprechen mit zunehmendem Detaillierungsgrad den Einzelkriterien. Die Verzweigung eines Astes wird erst dann beendet, wenn ein meßbares Kriterium vorliegt. Auf jedem Verzweigungsniveau wird gefragt: "Wie ist das Ziel erreichbar?" oder "Was heißt das?" oder "Wozu erforderlich?".

Das nachfolgende Beispiel soll die Struktur eines solchen Zielbaumes erläutern:



Diese Methode ist besonderes effektiv bei der Transformation eines nur verbal beschreibbaren ("undefinierten") übergeordneten Kriteriums (im Beispiel: Anwenderfreundlichkeit) in eine Menge von konkreten, meßbaren, physikalischen oder ökonomischen Größen.

6. Optimalitätskriterium

6.1. Ziel, Annahmen

Um ein eindeutiges Auswahlresultat zu erhalten, muß ein entsprechend eindeutiges Auswahlkriterium (Optimalitätskriterium) existieren. Es wird davon ausgegangen, daß solch ein Kriterium in skalarer Form angebar ist. Sollte das nicht möglich sein, so liegt der Fall einer Polyoptimierung vor. Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Es ist ein übergeordnetes Optimalitätskriterium gegeben, d. h. eine Größe oder eine Menge von Größen, die nicht unbedingt "definiert" sein müssen (z. B. Anwenderfreundlichkeit in Verbindung mit guter Formgebung des Objektes), die aber heuristisch die Qualität der Variante "a" der gegebenen Menge A bestimmen.
2. Es ist eine beschränkte stetige oder diskrete Menge der Varianten A gegeben.
3. Es ist eine bestimmte Menge von Bewertungskriterien k_i gegeben.
4. Es besteht die Möglichkeit der Expertenbefragung.
5. Es liegen bestimmte Informationen über die Menge der Varianten, über die Anforderungen und über die Beschränkungen vor. Die Gewinnung aktualisierter oder präzisierter Informationen ist entweder gänzlich unmöglich oder zu aufwendig.

Die Aufgabe besteht darin, unter Berücksichtigung der gemachten Annahmen für die Menge A eine skalare Funktion $F(k_i) = F(k_1, \dots, k_I)$ zu finden, die ein Maß für die Qualität der einzelnen Varianten a_v darstellt, wobei gleichzeitig der stochastische oder unscharfe Charakter der Bewertungen k_{iv} zu berücksichtigen ist.

Dieses als Optimalisierungskriterium F oder als Aufgabenkriterium zu bezeichnendes Maß besitzt die Eigenschaften, daß

- die Varianten des übergeordneten Kriteriums eindeutig aufstellbar sind,
- es die beschränkte Anzahl der Bewertungskriterien k_i berücksichtigt,
- es keine eindeutige physikalische oder ökonomische Interpretation benötigt,
- es nur für die vorgegebene Auswahl Aufgabe Gültigkeit besitzt.

Das skalare Kriterium entspricht einer quantisierten Qualitätsbestimmung, d. h. einer Qualitätsbestimmung mit Hilfe einer Zahl. Dieses Ziel ist erreichbar durch die Annahme einer gemeinsamen Bewertungsskala für die alle Bewertungskriterien (z. B. einer Punktskala, einer Geldskala oder einer Skala für die Netzungsqualität) oder durch die Verwendung von Bezugsmaßen.

6.2. Auswahl der mathematischen Form für das Optimalitätskriterium F

Für die Funktion $F(k_i)$ bestehen viele Formen der Mathematischen Darstellung. Durchgeführte Untersuchungen haben zum Ausweis von vier ver-

schiedenen Grundformen geführt, denen jeweils zugeordnete Entscheidungsstrategien entsprechen [3] :

1. Linearstrategie (Kompensationsstrategie)

$$F = \sum_{i=1}^I w_i \cdot k_i, \quad (6)$$

wobei die $w_i : i = \overline{1, I}$ Gewichtskoeffizienten darstellen. Diese Funktion ist so beschaffen, daß der Mangel einer Eigenschaft k_t durch einen entsprechenden Zuwachs einer anderen Eigenschaft k_j kompensiert werden kann.

2. Konjunktionsstrategie

Hierbei wird F durch das Produkt von Potenzfunktionen beschrieben

$$F = \prod_{i=1}^I k_i^{d_i} \quad (7)$$

d_i sind Konstante. F wird maximal, wenn alle k_i gleich sind. Für diesen Fall ist das Objekt "allseitig gut"; die gleiche Güte der Varianten führt zum Maximum und wird damit ausgezeichnet.

Eine zweite Eigenschaft von (7) besteht darin, daß man k_i durch die Differenzen $k_i - a_i$ ersetzen kann. In diesem Falle besitzt (7) eine selektive Wirkung: F wird Null, wenn wenigstens ein Kriterium den Schwellenwert a_i erreicht. Entsprechendes gilt für den Schwellenwert b_i (s. unten).

3. Alternative Strategie

$$F = \prod_{i=1}^I \frac{1}{e_i \cdot k_i} d_i \quad (8)$$

d_i und e_i sind Konstante. (8) beschreibt die Strategie eines Entscheidungsbevollmächtigten. Es wird diejenige Variante hoch bewertet und damit ausgewählt, bei der wenigstens ein Kriterium dem Schwellenwert e_i nahe kommt. Diese Strategie ist nichtlinear und nichtkompensierend.

4. Interaktionsstrategie

Bei der Gruppe dieser Strategien werden Wechselwirkungen zwischen den Kriterien berücksichtigt. Die Bewertung des Gewichtes für ein Kriterium ist von den Werten der anderen Kriterien abhängig. Als Beispiel sei die Bewertung einer Erfindungstätigkeit genannt: enthält das Projekt eine besonders wertvolle Idee, so kann den Realisierungskosten ein geringeres Gewicht beigemessen werden.

In der Praxis kann man sich auf zwei Modelle für das Optimalitätskriterium beschränken:

Summenform

$$F = \sum_{i=1}^I w_i u_i(k_i) \quad (9)$$

Produktform

$$F = \prod_{i=1}^I (k_i^x)^{d_i} \quad (10)$$

mit w_i - Gewicht des i -ten Bewertungskriteriums

$$w_i \in [0, 1], \quad \sum_{i=1}^I w_i = 1,$$

$u_i(k_i)$ - Präferenzfunktion des i -ten Bewertungskriteriums,

k_i^x - normierten Wert des Bewertungskriteriums, berechnet man nach

$$k_i^x = \frac{k_i - a_i}{b_i - a_i}$$

a_i, b_i - unterer bzw. oberer Grenzwert (Schwellenwert) des Bewertungskriteriums bei einer vorgegebenen Menge von Varianten,

$d_i, x \in [0, 1]$ - Potenzexponent, der die Funktion eines Gewichtskoeffizienten erfüllt.

Das Modell in der Produktform wendet man in folgenden Fällen an:

- bei Bevorzugung von Lösungen mit Ergebnissen, die beiderseitig zum Mittelwert liegen,
- bei einer Selektion,
- wenn aus irgendwelchen Gründen keine Möglichkeit besteht, alle Bewertungskriterien mit einem gemeinsamen Maß zu bewerten oder wenn die Bestimmung der Präferenzfunktion $u_i(k_i)$ nicht möglich ist.

In allen übrigen Fällen empfiehlt sich die Verwendung der Summenform für das Optimalitätskriterium. Die Potenzexponenten, die kleiner als Eins sind, ermöglichen eine stärkere Unterscheidung der Zuwächse von k_i im Bereich kleiner k_i -Werte. Die Potenzexponenten, die größer als Eins sind, erlauben eine stärkere Unterscheidung der Zuwächse von k_i im Bereich großer k_i -Werte.

6.3. Präferenzfunktion $u(k_i) = u_i$

Im allgemeinen Fall ist der Verlauf der Präferenzfunktion im Intervall $k_i \in [a_i, b_i]$ von folgendem abhängig:

- von den Bedingungen, dem Gesamtbild der Situation.

So kann z. B. ein Experte die Zuverlässigkeit $R = 0.90$ einer meteorolo-

logischen Rakete als "gut" bezeichnen, wenn die Kosten der installierten Geräte entsprechend niedrig sind. Er wird jedoch diese Zuverlässigkeit nur mit "genügend" bewerten, wenn die eingebauten Geräte selten und teuer sind. Ähnlich verhält es sich etwa mit der Ladefähigkeit eines PKW von 50 kg, die man unter jeweilig unterschiedlichen als "schlecht" oder "gut" bezeichnen kann;

- vom zufälligen Geschmack des Anwenders;
- von der Wiederholbarkeit einer bestimmten Situation.

So wird die Zuverlässigkeitsbewertung einer Rakete mit $R = 0.90$ bei einem vorgeschenen Einzelflug sicher anders ausfallen wie bei einer Rakete, die ständig benutzt wird und bei der die Untersuchungen wiederholbar sind;

- von den Grenzen $[a_i, b_i]$. So ist ein Geldbetrag von 5 M im Intervall $[0, 10 \text{ M}]$ höher zu bewerten als im Intervall $[0, 1000 \text{ M}]$;
- von bestimmten Entscheidungsbevollmächtigten oder ihrem Auftrage tätigen Verantwortlichen.

6.3.1. Deterministischer Fall der Bestimmung $u(k_i)$ [5]

Für einen bestimmten Fall sei gegeben:

- eine Objektmenge A stetig oder diskret $\{a_v : v = 1, \dots, V\}$ mit $a = a(\underline{X})$,
- ein Bewertungskriterium k_i (Benennung), $k_i \in \{K\}$,
- der Wert des Kriteriums $k_i(\underline{X})$ oder $k_i(a_v)$,
- die Anwendersituation (Zustand der Umgebung) und die Häufigkeit der Anwendung,
- ein Verantwortlicher.

Vorgehensweise: Zunächst wird der Variationsbereich $k_i : [a_i, b_i]$ ermittelt. Danach wird intuitiv der angestrebte Extremalwert $k_i = c_i$ bestimmt. Für diesen Wert gilt

$$u_i(c_i) = \text{Extr. } \{u_i(k_i)\}$$

$$c_i \in [a_i, b_i] \quad k_i \in [a_i, b_i]$$

Liegt c_i innerhalb des B-ereiches, d. h. liegt c_i nicht auf den Schranken a_i, b_i , so wird der Bereich in Unterbereiche aufgeteilt, in denen die Funktion $u(k_i)$ monoton verläuft. Erkennt der Experte, daß im ganzen Bereich $[a_i, b_i]$ $u(k_i) = \text{const.}$ ist, so bedeutet dies, daß k_i für die gegebene Aufgabe kein Bewertungskriterium darstellt.

Für jeden Unterbereich geht man wie folgt vor:

Man bestimmt zunächst willkürlich die Grenzwerte, z. B. $u(a_i) = 0$ und $u(c_i) = 1$. Dann wählt man einen beliebigen Wert $k_i = x$ im Innern des betreffenden Unterbereiches und stellt den Experten vor eine Entschei-

dingssituation (Bild 4) . Er hat zu entscheiden: SPIELEN oder NICHT SPIELEN.

Wenn er sich für SPIELEN entscheidet , so ist das gleichbedeutend mit der Teilnahme an einer Lotterie, bei der er mit der Wahrscheinlichkeit p_1 den Wert $k_1 = a_i$ oder mit der Wahrscheinlichkeit $p_2 = 1 - p_1$ den Wert c_i gewinnt.

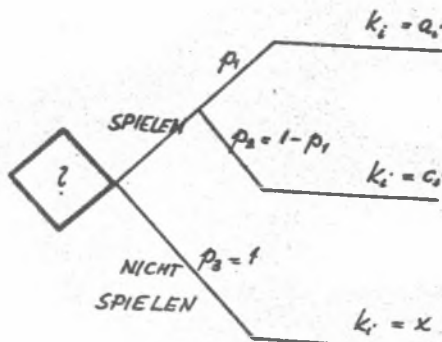


Abb. 4

Entscheidet er sich für NICHT SPIELEN , so erhält er ohne Risiko den Wert $k_i = x$. Bei Konstanzhaltung der Werte anderer Bewertungskriterien $k_j \in \{k\}$, $k_j \neq k_i$, wird p_1 so lange geändert, bis beide möglichen Entscheidungen für den Experten gleich wertvoll sind. Diesen so erhaltenen Wert nimmt man als Wert für die Präferenzfunktion und trägt ihn in die Graphik von $u_i = u(k_i)$ ein. Dieser Vorgang wird für eine hinreichend große Zahl der Punkte $x \in [a_i, c_i]$ wiederholt.

6.3.2. Stochastische Ermittlung der Präferenzfunktion bei stetigen Variablen des Zustandsraumes

Zu Punkt 6.3. wurde einleitend festgestellt, daß der Verlauf der Präferenzfunktionen im allgemeinen Fall von den Umgebungsbedingungen abhängt. Da die gesuchte Präferenzfunktion die zukünftigen Umgebungszu-

stände selbst betrifft, sind diese Zustände zu prognostizieren. Daraus folgt ihr stochastischer Charakter.

Wir gehen davon aus, daß die möglichen Umgebungszustände $\{S\}$ in einem cartesischen Raum mit Hilfe eines Zustandsvektors dargestellt werden können. Der Zustandsvektor besitzt eine endliche Anzahl von Koordinaten $\{s_g\}$, $g = 1, \dots, G$, die stetig oder diskret, definiert und meßbar sind. Diese Variablen werden als Zustandsvariable bezeichnet. Die Wertemenge der Zustandsvariablen $S = \langle s_1, s_2, \dots, s_G \rangle$ bilden damit jeden Umgebungszustand S eindeutig ab.

Interessiert z. B. die Präferenzfunktion "u" der Werte des Dämpfungskoeffizienten eines PKW, so ist festzustellen, daß sie u. a. von S_1 - den Unebenheiten des Weges, S_2 - von der Fahrgeschwindigkeit, S_3 - von der Fahrzeugmasse und damit von der Belastung abhängig ist.

Nehmen wir weiter an, daß die Möglichkeit besteht, die Präferenzfunktion $u_i = u_i(\{S\})$ für bestimmte Werte $k_{i0} = \text{const.}$ im Zustandsraum mit der Umgebung $\{S\}$ zu ermitteln. Diese Wertemenge bildet eine Fläche im $G + 1$ -dimensionalen Raum $\{u_i, S\}$. Es wird weiterhin angenommen, daß im Gebiet $\{S\}$ eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(\{S\})$ bestimmbar ist, die eine Beschreibung der Wahrscheinlichkeitsverteilung bezüglich des Auftretens der einzelnen Zustände darstellt, wobei

$$f(S) = \prod_{g=1}^{g=G} f_g(s_g)$$

und

$$f_g(s_g) = f_g$$

für die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Variablen s_g gilt. In Analogie zu der vorher gemachten Annahmen bildet $f(\{S\})$ eine bestimmte Fläche im $G + 1$ -dimensionalen Raum $\{f, S\}$.

Der Wert der Präferenzfunktion $u_i(k_i = k_{i0})$ für alle Umgebungszustände $\{S\}$ wird als Erwartungswert der Präferenzfunktion definiert:

$$u_{i0}(k_{i0}, \{S\}) = \int_{\underline{s}_1}^{\overline{s}_1} ds_1 \int_{\underline{s}_2}^{\overline{s}_2} ds_2 \dots \int_{\underline{s}_G}^{\overline{s}_G} u_i(k_{i0}, \{S\}) \cdot f(\{S\}) ds_G \quad (12)$$

Durch Veränderung von k_{i0} im gesamten Intervall $[a_1, b_1]$ läßt sich für ein gegebenes Bewertungskriterium k_i die gesuchte Präferenzfunktion ermitteln.

Es ist darauf hinzuweisen, daß der beschriebene Fall nur eine theoretische Bedeutung besitzt, da der Integrand nicht analytisch gegeben ist. Das gilt insbesondere für die Präferenzfunktion $u_i(k_{i0}, \{S\})$, die durch einen Experten bestimmt wird und die nicht analytisch vorliegt. Außerdem ist die dargestellte Handlungsforschrift sehr aufwendig.

6.3.3. Stochastische Bestimmung der Präferenzfunktion bei diskreten Variablen des Zustandsraumes

Praktische Bedeutung hat der diskrete Fall. Hierzu werden die Intervalle s_g, \bar{s}_g in eine endliche Anzahl von Unterbereichen aufgeteilt, die z. B. durch ihre Bezeichnungen oder ihre Mittelwerte

$$s_g^1 : [s_g, \bar{s}_g] \rightarrow s_g^1, \dots, s_g^{l_g}, \dots, s_g^{l_g}$$

repräsentiert werden. So kann z. B. der Bereich der Umgebungstemperatur $[-10^\circ\text{C}, +20^\circ\text{C}]$ durch drei Unterbereiche mit den mittleren Temperaturen $-5, +5$ und $+15^\circ\text{C}$ oder durch die Bezeichnungen "niedrige Temperatur", "mittlere Temperatur" und "hohe Temperatur" repräsentiert werden.

Es ist also möglich, eine gewisse endliche Menge der Umgebungszustände $\{S^t\}$, $t = 1, \dots, T$ zu bilden, die das kartesische Produkt aus gezeichneter Zustände einzelner Variablen $s_g^{l_g}$, $l_g = 1, \dots, L_g$ definieren:

$$\left\{ S^t \right\}_{t=1, \dots, T} = \left\{ s_1^{l_1} \right\}_{l_1=1, \dots, L_1} \times \dots \times \left\{ s_g^{l_g} \right\}_{l_g=1, \dots, L_g} \times \dots \times \left\{ s_G^{l_G} \right\}_{l_G=1, \dots, L_G} \quad (13)$$

wobei

$$T = \prod_{g=1}^G L_g.$$

Mit Hilfe der in 5.1. angegebenen Methode läßt sich daraufhin jedem Zustand S^* bei einem vorgegebenen Wert $k_i = k_{i0}$ ein bestimmter Wert der Präferenzfunktion $u_i(k_{i0}, S^*) = u_{i0}^*$ zuordnen.

Danach wird jedem Zustand S^t eine bestimmte Wahrscheinlichkeit $p^t(S^t)$ zugeordnet, wobei

$$p^t(S^t) = p^t = \prod_{g=1}^G p(s_g^{l_g}) \quad (14)$$

gilt. $\left\{ s_g^{l_g} \right\}$ bezeichnet die Menge der Zustände aufeinander folgender Konstruktionsvariablen des gegebenen Umgebungszustandes S^t ; p ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der einzelnen Zustände, wobei

$$\sum_{l_g=1}^{L_g} p(s_g^{l_g}) = 1 \quad \text{für } g = 1, \dots, G$$

erfüllt sein muß.

Unter Berücksichtigung der in 5.2. gegebenen Definition wird der

Wert der Präferenzfunktion $u_i(k_i - k_{i0})$ für alle möglichen diskreten Umgebungszustände $\{S^t\}$, $t = 1, \dots, T$ als Erwartungswert für alle stochastischen Umgebungszustände bestimmt:

$$u_i(k_{i0}, \{S^t\}) = \sum_{t=1}^T u_{i0}^t \cdot p_{i0}^t \quad (15)$$

Beispiel: Es besteht die Aufgabe, zur Vorbereitung des Ankaufs eines Industrieroboters, die Qualität der angebotenen Roboter zu bewerten. In einem vorliegenden Angebotskatalog sind technische Daten und Funktionseigenschaften für die Angebotsmenge verzeichnet. Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage vorher vereinbarter Bewertungskriterien. Ein Kriterium dieser Art sei die Eigenschaft "Anwendungsbreite". Es wurde entschieden, daß diese Eigenschaft des Kaufobjektes durch die Anzahl möglicher Grundprogramme (k_1) gemessen werden soll. Bei der untersuchten Angebotsmenge liegt diese Zahl zwischen 3 und 20. Als Minimum wurde die Anzahl 2 festgelegt, d. h. es ist $a_1 = 2$, $b_1 = 20$. Für das untersuchte Kriterium werden zwei Umgebungsvariable eingeführt:

- s_1 - die Zahl künftiger Anwendungsfälle des Roboters,
- s_2 - die Möglichkeit des Ankaufes von Robotern anderen Typs.

Für die erste Variable werden drei unterschiedliche Zustände ausgezeichnet: $s_{11} : (s_1 < 3)$, $s_{12} : (3 \leq s_1 \leq 6)$, $s_{13} : (s_1 > 6)$. Für die zweite Variable werden zwei Zustände benannt: $s_{12} : \text{JA}$, $s_{22} : \text{NEIN}$. Nach Durchführung entsprechender prognostischer Untersuchungen werden die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der einzelnen Zustände s_{1g}^t beider Variablen ($g = 1, 2$) festgelegt. Die Abschätzung ergibt: $p_{11} = 0,1$, $p_{12} = 0,6$, $p_{13} = 0,3$, $p_{21} = 0,4$ und $p_{22} = 0,6$. Damit existieren 6 mögliche Umgebungszustände $\{S^t\}$, $t = 1, \dots, 6$.

Die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten $\{p^t\}$: $t = 1, \dots, 6$ sind:

$$\begin{aligned} S^1 &= s_{11}s_{21}, & p^1 &= p_{11} \cdot p_{21} = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 \\ S^2 &= s_{11}s_{22}, & p^2 &= p_{11} \cdot p_{22} = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06 \\ S^3 &= s_{12}s_{21}, & p^3 &= p_{12} \cdot p_{21} = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24 \\ S^4 &= s_{12}s_{22}, & p^4 &= p_{12} \cdot p_{22} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36 \\ S^5 &= s_{13}s_{21}, & p^5 &= p_{13} \cdot p_{21} = 0,3 \cdot 0,4 = 0,12 \\ S^6 &= s_{13}s_{22}, & p^6 &= p_{13} \cdot p_{22} = 0,3 \cdot 0,6 = 0,18 \end{aligned}$$

$$\sum_{t=1}^6 p^t = 1,00$$

Nach der in 5.2. angegebenen Methode wird sodann der Verlauf der Präferenzfunktion $u^t(k_1)$ für jeden einzelnen Zustand $t = 1, \dots, 6$ ermittelt (Bild 5).

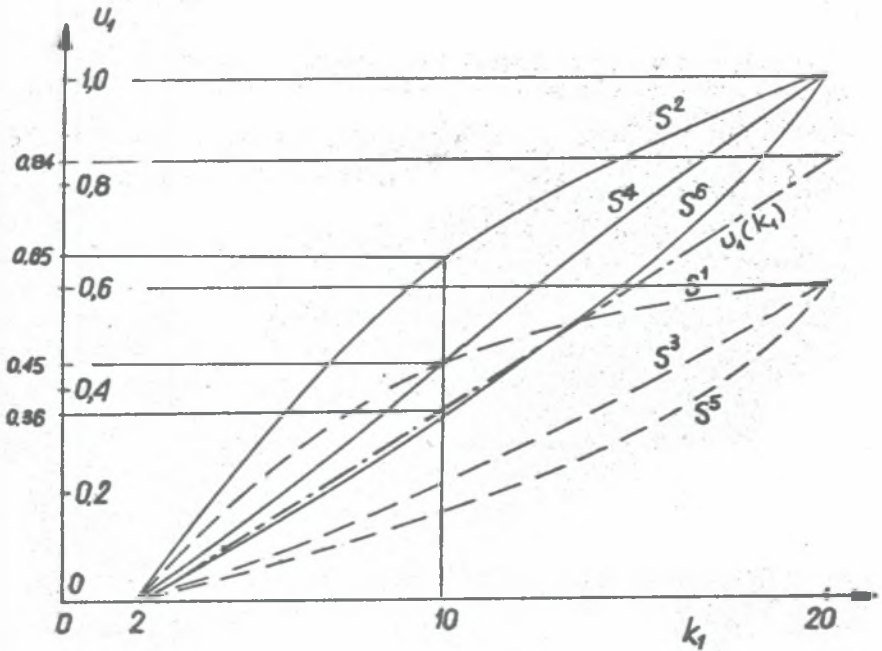


Abb. 5

Unter Verwendung des Ausdrucks für $u_i(k_{10})$ wird schließlich der Erwartungswert der Präferenzfunktion für die ausgewählten Werte $k_1 = 10$ und $k_1 = 20$ berechnet. Dazu werden die u^t -Werte aus den zugehörigen Kurvenverläufen (s. Bild 5) entnommen. Man erhält z. B. für $u_1(10)$:

$$u_1(10) = 0,45 \cdot 0,04 + 0,65 \cdot 0,06 + 0,25 \cdot 0,24 + 0,45 \cdot 0,36 + 0,15 \cdot 0,12 + 0,35 \cdot 0,18 = 0,36$$

Das Ergebnis der Berechnung zeigt der strichpunktierte Kurvenverlauf $u_1(k_1)$ in Bild 5.

6.4. Bestimmung der Gewichtskoeffizienten w_i

Es gibt eine große Anzahl intuitiver Vorgehensweisen zur Ermittlung der Werte der Gewichtskoeffizienten w_i für die einzelnen Bewertungskriterien $k_i = i = 1, \dots, I[2]$.

An dieser Stelle soll eine Methode vorgestellt werden, die den Begriff der Präferenzfunktion verwendet und die durch eine minimale Willkür bei der Koeffizientenbestimmung aufgezeichnet ist.

Es wird von der Annahme ausgegangen, daß eine Menge der Bewertungskriterien $\{k_i\}$ und eine Menge ihrer Präferenzfunktionen gegeben sind. Die Vorgehensweise besteht darin, eine Menge der Gewichtskoeffizienten $\{w_i\}$ mit der Eigenschaft zu suchen, daß die Funktion

$$F = \sum_{i=1}^{i=I} w_i \cdot u_i(k_i)$$

ein Maß für Qualität im Sinne des übergeordneten Kriteriums Φ darstellt.

Entsprechend Bild 6 wird ein beliebiges Paar von Kriterien $\{k_1, k_2\}$

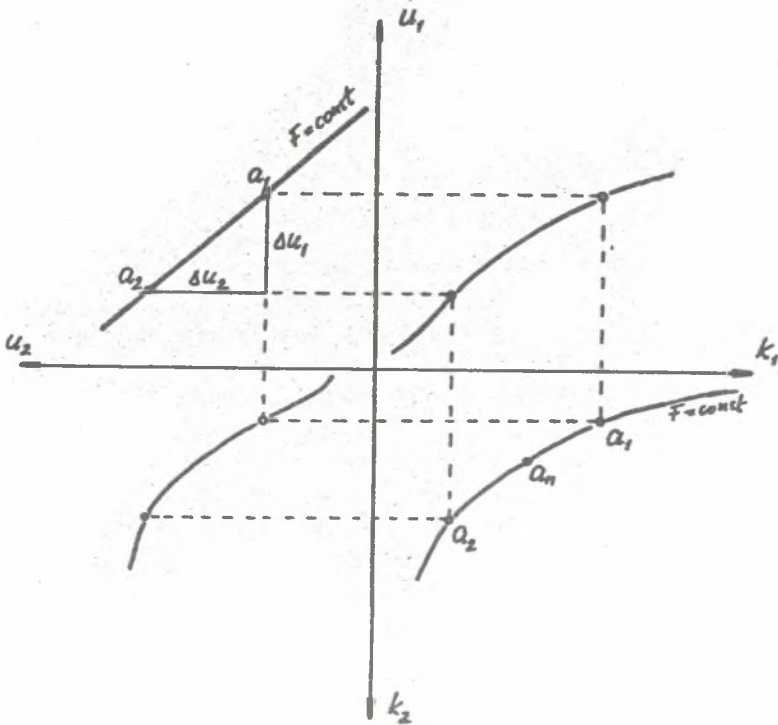


Abb. 6

mit den zugehörigen Präferenzfunktionen im Diagramm dargestellt. Mit Hilfe eines Experten werden in den Quadranten k_1, k_2 mit a_1, a_2, \dots, a_n einige Objekte gleicher Qualität eingetragen, denen unterschiedliche Werte k_1, k_2 entsprechen, so daß $F(a_1) = F(a_2) = \dots = F(a_n)$ gilt, wobei die Werte der übrigen Kriterien k_3, k_4, \dots, k_I im Mittel ungeändert bleiben. Auf die in Bild 6 dargestellte Weise wird dieser Kurvenverlauf mit $F = \text{const.}$ aus dem k_1, k_2 -Quadranten überführt. Wegen

$$F(a_1) = F(a_2)$$

folgt

$$w_1 u_1(a_1) + w_2 u_2(a_2) = w_1 u_1(a_2) + w_2 u_2(a_1)$$

Daraus ergibt sich

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{u_1(a_1) - u_1(a_2)}{u_2(a_2) - u_2(a_1)} = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \quad (16)$$

Mit $w_1 = 1$ folgt daraus

$$w_2 = \frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \quad (17)$$

Sollte es sich erweisen, daß die Kurve $F = \text{const.}$ im u_1, u_2 -Quadranten erheblich von einer Geraden abweicht, so zeugt das davon, da entweder 1. die übrigen drei Kurven vom Experten nicht akzeptiert werden, oder 2. die Bewertungskriterien nicht orthogonal sind, oder 3. die lineare Form von F für den gegebenen Fall nicht zweckmäßig ist.

Im Zusammenhang damit ist zu erkennen, da die Ergebnisse dieser Betrachtung gleichzeitig eine Handlungsstrategie zum Nachweis der Fehlerfreiheit aller vorangegangenen Schritte darstellen.

Wird unter Verwendung des im vorherigen Schritt ermittelten w_2 -wertes mit dem nächsten Paar der Bewertungskriterien $\{k_2, k_3\}$ entsprechend verfahren, so läßt sich w_3 berechnen. Auf diese Weise wird bis zum letzten Kriterium k_I verfahren.

Unter Verwendung von

$$w_1' = \frac{w_1}{\sum w_i} \quad (18)$$

wird abschließend zur Gewährleistung von $\sum_{i=1}^I w_i' = 1$ eine Normierung von w_i vorgenommen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Cross M., Roy R. : Design Methods Manual. The Open University Press, Walton Hall, Milton Keynes, 1976.
- [2] Heinrich W. / Leiter des Autorenkollektivs / : Grundsätze und Hinweise zur Entwicklung volkswirtschaftlich optimaler Erzeugnisse. Schriftenreihe "Materialökonomie", Institut für Leichtbau, Dresden 1981.
- [3] Koziielecki J. : Psychologiczna teoria decyzji. PWN, Warszawa 1977.
- [4] Peschel M., Riedel G. : Polyoptimierung. Eine Entscheidungshilfe für ingenieurtechnische Kompromißlösungen. VEB Verlag Technik, Berlin 1976.
- [5] Siddal J.N. : Analytical Decision-Making in Engineering Design. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1972.
- [6] Tarnowski W. : Ocena technologiczności konstrukcji. "Przegląd Mechaniczny" Nr. 1/, s. 333-336, 1977.
- [7] Tarnowski W. : General Model and Choice Criterion in Engineering Design, Design Studies, Vol. 1, No. 1, July 1979, s. 45-48.
- [8] Tarnowski W. : Formalization of the multi-attribute value system in probabilistic terms. Design Studies, IPC Business Press, Ltd., vol.2, No.1, s. 41-44, 1980.
- [9] Tarnowski W. : Struktura procesu projektowania. "Przegląd Mechaniczny", Nr 1-7, 1982.

GENERAL MODEL OF THE CHOICE PROCESS IN ENGINEERING DESIGN

S u m m a r y

In the paper the choice task is defined, as well as the variants A and the requirement \mathcal{P} are described and the way of formalization is presented. Then the structure of the choice process is proposed for the two cases, when the set A is not numerous and when it is continuous or very numerous. Sequential procedures are described and rationalized, and the two of them are discussed: the definition of assessment criteria and the formalization of the scalar overall criterion of optimality. The latter is given for two cases: deterministic as well as probabilistic. Then methods for calculation of weighing factors are proposed, too.

UOGÓLNIONY MODEL PROCESU WYBORU W PROJEKTOWANIU TECHNICZNYM

S t r e s z c z e n i e

W pracy sformułowano zadanie wyboru oraz scharakteryzowano zbiór wariantów A oraz wymagania \mathcal{P} oraz sposób ich formalizacji. Z kolei zaproponowano strukturę procesu wyboru dla dwóch przypadków zbioru wariantów A : gdy jest on skończony niezbyt liczny i gdy jest nieskończony lub skończony bardzo liczny. Opisano poszczególne procedury procesu wyboru, przy czym szczególny nacisk położono na dwie: określania kryteriów oceny oraz definiowania skalarnego kryterium optymalizacji. Tę ostatnią zaproponowano dla przypadku deterministycznego oraz probabilistycznego, pokazano też sposób określania współczynników wagi.