

Alois BREIING

Institut für Konstruktion und Bauweisen
Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Schweiz

DIE BEDEUTUNG DER BEWERTUNG IN COMPUTERGESTÜTZTEN KONSTRUKTIONSPROZESSEN

Zusammenfassung

Seit der Verbreitung der Computertechnologie in technischen Bereichen besteht das Bestreben, den Konstruktionsprozeß als *interaktiv* einsetzbares Programm zur logisch verlaufenden Führung durch die einzelnen Prozeßphasen zu entwickeln. Insbesondere soll sie zu Datenbanken leiten, aus denen sowohl bereits vorhandene Lösungen als auch Grundelemente zu den unterschiedlichen Prozeßinhalten abgerufen werden können. Mit Hilfe logischer Algorithmen sollen die gefundenen Grundelemente zu einer *Menge* von Lösungen verknüpft und im Sinne einer Entscheidungshilfe bewertet werden können.

Dieser Aufsatz befaßt sich insbesondere mit wichtigen Gesichtspunkten zur Bewertung der anfallenden und damit zur Auswahl der bestmöglichen Lösungen.

1. Die Verantwortung der Konstruktion für den Produkterfolg

In weiten Kreisen der Industrie rücken das Interesse und die administrative Unterstützung an der Produktion in Verbindung mit dem Zauberbegriff CIM gegenüber der Entwicklung und insbesondere der Konstruktion zunehmend in den Vordergrund. Dies ist zwar verständlich, da nur durch das Produkt Marktanteile und Gewinne und damit der Erhalt und das Wachstum der Wirtschaft sichergestellt werden können, darf jedoch das Bewußtsein für die im Vorfeld der Produktion nicht wegzudiskutierende Konstruktion nicht trüben, denn

CIM allein schützt nicht vor schlechten Produkten!

Die Bedeutung der Konstruktion läßt sich bereits aus der Definition zur CIM-Philosophie erkennen, denn diese lautet:

CIM-Philosophie: Vollständige Integration des Computers in den Entstehungsprozeß eines Produktes zwecks Verarbeitung aller Informationen, die diesen Prozeß steuern und ihn und das Produkt selbst beschreiben und in einem definierten Rahmen optimieren.
--

Die Beschreibung und Optimierung des Produktes aber erfolgt zunächst schrittweise im Verlaufe der Konstruktion einschließlich den dieser zuarbeitenden theoretisch orientierten Fachdisziplinen. Der Konstrukteur bestimmt also das Maß für ein gutes Produkt, welches vor allem in der Idee, in der funktional einwandfreien, betriebssicheren, ergonomisch handhabbaren, umweltschonenden (also energiearmen, geräuscharmen usw.) und nicht zuletzt in der nach Ablauf der *Produktlebensphasen* ökologisch einwandfreien Entsorgbarkeit des Produktes zu finden ist. Allem voran steht somit die verkaufbare Produktidee und deren einwandfreie Realisation während der Konstruktion, und es ist auch hinreichend bekannt, daß die Verantwortung für die Kosten aller mit der Herstellung, Kontrolle, Verteilung und Betreuung der Produkte beim Konstrukteur zu suchen ist.

Ein großer Prozentsatz der verursachten Kosten beruht auf *Diskontinuität* innerhalb der Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse sowie - und das macht den größten Teil aus - auf Fehlern, die sich oftmals unentdeckt vom Konstruktionsentwurf - ja manchmal sogar von der nicht ausgereiften Idee - bis hin zu ihrer Späterkennung in der Endkontrolle oder gar nach der Markteinführung innerhalb der Betriebsphase durchziehen. In letztem Fall kann das für den Produkthersteller sehr teuer werden, sofern serielles Versagen bereits in die Garantiezeit fällt.

Es gilt also, Fehler zu vermeiden oder zumindest zu minimieren. Hier ist der Computer - richtig verstanden und eingesetzt - ein optimales Hilfsmittel, und die CIM-Philosophie beruht nicht nur auf der Durchgängigkeit von Informationen, sondern auch auf der Annahme, daß auch deren **Fehlerfreiheit** durchgängig ist.

2. Modell eines computergestützten heuristischen Prozesses

Grundsätzlich läßt sich jede konstruktionsmethodische Vorgehensweise im Rahmen eines Konstruktionsprozesses als Computerprogramm entwickeln. Diese Prozedur macht jedoch nur dann einen Sinn, wenn sie nicht nur in Form von Führungsalgorithmen zur interaktiven Führung des Anwenders durch die einzelnen Prozeßphasen führt, sondern in jeder Phase eine Unterstützung zur partiellen Lösungsfindung anbietet. Damit ergibt sich die Forderung nach der Anbindung an mächtige Datenbanken, in denen das erforderliche Konstruktions- sach- und -prozeßwissen vorhanden ist und von Datenmanipulationssprachen (*Data Manipulation Language* - DML) verwaltet und verarbeitet wird.

Die in jeder Phase zu verarbeitenden Daten oder Fakten werden relational verknüpften Datenbasen entnommen, in die in ihrem Entwurfsstadium Basiswissen eingelesen wurde und die laufend durch neue Erkenntnisse oder Zwischenergebnisse (neues Wissen) erweitert werden. Dies kann entweder durch individuelle Dateneingabe oder - nach der Lösungsfindung im Rahmen einer Projektbearbeitung - automatisch erfolgen.

Damit läßt sich jede Anforderung, jede Funktion, jedes technologische Prinzip, jeder technische Prozeß, jeder Funktionsträger und jede Lösung als ein Element aus einer entsprechenden Gesamtheit, also aus einer *Menge*, betrachten.

Da alle Begriffe, ganz gleich, ob aus der abstrakten oder der realen Welt, durch zugeordnete Merkmale, Eigenschaften und mögliche Zustände beschrieben werden können, lassen sie sich als *Entitäten* in *Relationen* zusammenfassen und in die *Datenbasis* einer *relationalen Datenbank* eingeben, dort verwalten und verarbeiten. Die Beschreibung einer jeden Entität erfolgt durch charakteristische *Attribute*, wodurch sich sogenannte *Tupel* ergeben, die jeweils mindestens einen für die Verknüpfung mit Entitäten anderer Mengen erforderlichen *Identifikationsschlüssel* besitzen. Die Verarbeitung der so gebildeten *Datensätze* erfolgt

in dem hier angesprochenen Modell unter besonderer Berücksichtigung konstruktiven Denkens und der sich daraus ergebenden Arbeitsweise.

Die Beschreibung der verschiedenartigen Entitäten und deren Verknüpfungsalgorithmen würden den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen; deshalb sei auf [2] bzw. [3] hingewiesen.

Der Prozeßablauf läßt sich folgendermaßen erklären (vgl. Bild 1):

Durch Abstraktion der gestellten Konstruktionsaufgabe wird eine charakteristische Gesamtfunktion ermittelt, durch die das Wesen der gesuchten Lösung ausreichend beschrieben wird. Die Auflösung dieser Gesamtfunktion in Teilfunktionen bis hinunter zu elementaren Funktionen der Physik, Chemie, Biologie usw. bietet eine Gewähr für eine breitgefächerte Palette von Lösungen.

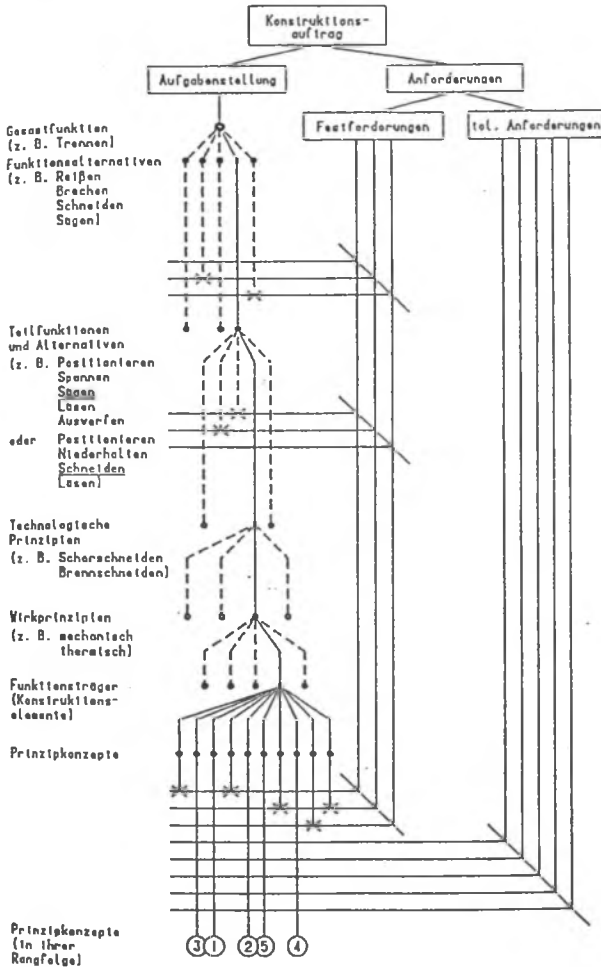


Bild 1. Computergestützter heuristischer Prozeß einschließlich der Bewertung von Zwischenlösungen

Der nächste Schritt dient der Bildung technischer Prozesse gemäß der klassischen Zusammensetzung von *Eingangsoperanden*, zustandsverändernder *Funktion* und *Ausgangsoperanden*. Werden Ein- und Ausgangsoperanden ausreichend genau beschrieben, so lassen sich aus den Identifikationsschlüsseln der beschreibenden Entitäten solche der möglichen *technischen Prozesse* und in gleicher Weise die der diese Prozesse erfüllenden prinzipiellen *Funktionsträger* bilden.

Werden diese miteinander verknüpft, steht am Ende der Konzeptphase unter Umständen eine unüberschaubare Menge von sinnvollen, aber auch unsinnigen Gesamtlösungen zur Verfügung, gebildet aus den geometrisch darstellbaren *Konstruktionsentitäten* und deren als *Attribute* zugeordneten Eigenschaften nach den Gesetzen der *morphologischen Lösungsmatrix*.

Aus dieser Lösungsmenge werden die wenig erfolgversprechenden Lösungen mit Hilfe der Menge aller vorgegebenen Anforderungen durch die Anwendung eines Bewertungsalgorithmus eliminiert. Die verbleibenden Lösungen liegen in ihrer an der Zielvorstellung der Konstruktionsaufgabe gemessenen Rangfolge vor.

Aus diesem Grund ist die Bewertung von Lösungsvarianten bzw. -alternativen eines der wichtigsten, den Konstruktionsprozeß begleitenden Werkzeuge. Da die Wichtigkeiten der einflußnehmenden Kriterien unter Umständen stark voneinander abweichen, muß eine Gewichtung erfolgen. Um der Gefahr vorzubeugen, daß die Wertigkeiten der einzelnen Zwischenlösungen infolge der im Prozeßverlauf mehrmalig stattfindenden Bewertung aufgrund widersprüchlicher Wichtigkeiten immer mehr verfälscht werden, müssen die Gewichtungsmatrizen absolut konsistent sein.

Die Kenntnis von gängigen Methoden zur gewichteten Bewertung vorausgesetzt, werden im folgenden Kapitel die wichtigsten Zusammenhänge zur Erzielung *absolut* konsistenter Gewichtungs- und Bewertungsmatrizen beschrieben.

3. Bewertung von generierten Lösungen als Entscheidungshilfe

3.1. Übersicht

Die Durchführung einer Bewertung ist im Ansatz recht einfach und läßt sich grundsätzlich in folgende Arbeitsschritte gliedern:

1. Zu bewertende Lösungen auf ein vergleichbares Aussageniveau bringen.
2. Bewertungskriterien aus den expliziten und impliziten Anforderungen herleiten.
3. Bewertungskriterien gewichten und Gewichtungsfaktoren berechnen.
4. Quantitative Werte bzw. qualitative Eigenschaften der zu bewertenden Konstruktionsvarianten bzw. -alternativen ermitteln.
5. Maßzahlen je Kriterium und Variante bzw. Alternative bestimmen.
6. Wertungszahlen und Wertigkeiten für jede Variante bzw. Alternative aus Gewichtungsfaktoren und Maßzahlen berechnen.
7. Bewertungsergebnisse darstellen.

Da die Kenntnis dieser Schritte gemeinhin bekannt ist (vgl. beispielsweise [1] oder [3]), werden im folgenden nur die wesentlichen Überlegungen zum unsichersten Arbeitsschritt, dem der Gewichtung, zusammengefaßt.

3.2. Die mathematisch-logische Erstellung konsistenter Gewichtungsmatrizen

In der Regel sind die an ein technisches System gestellten Anforderungen nicht alle gleich wichtig. Dieser Umstand ist bekannt und muß bei der Bewertung dadurch berücksichtigt werden, daß die aus den Anforderungen hergeleiteten Bewertungskriterien gegeneinander abgewogen und damit gewichtet werden. Die Gewichtung wird ausgedrückt durch die aus den Wichtigkeiten ermittelten sogenannten *Gewichtungsfaktoren*, mit denen die Maßzahlen je Kriterium einer jeden Lösung multipliziert werden und damit die sogenannten *Wertungszahlen* ergeben.

Die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren erfolgt formell und üblicherweise durch Eintragung der *Wichtigkeiten*, mit denen sich die Bewertungskriterien gegeneinander in ingenieurmäßiger Entscheidung abwägen lassen, in eine sogenannte *Gewichtungsmatrix*. Die Notierung der Gewichtungsfaktoren ist abhängig davon, ob verhältnismäßige Wichtigkeiten oder aber paarweise normierte Wichtigkeiten bestimmt wurden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Bestimmungsarten ergibt sich aus der Betrachtungsweise der Antwort auf

folgende, grundsätzliche Fragestellung zur Bestimmung der Wichtigkeiten $p_{i,j}$ eines Kriteriums i gegenüber einem Kriterium j :

“Um wieviel wichtiger ist ein Bewertungskriterium gegenüber jedem anderen?”

Im Falle verhältnismäßiger Wichtigkeiten werden zwei Kriterien zueinander ins Verhältnis gesetzt. Dabei gelten für die Abschätzung der Wichtigkeiten des ersten Kriteriums gegenüber allen anderen Kriterien folgende Regeln:

Wird beispielsweise die Wichtigkeit des Kriteriums A höher eingeschätzt als die des Kriteriums B, so wird innerhalb der Zeile A unter B ein Wert $p_{AB} > 1.0$ eingesetzt. Wird weiterhin die Wichtigkeit des Kriteriums A geringer als die des Kriteriums C eingeschätzt, so wird innerhalb der Zeile A unter C ein Wert $0 < p_{AC} < 1.0$ eingesetzt. Sind die Kriterien A und D gleichwertig, so erscheint in Zeile A unter D der Wert $p_{AD} = 1.0$. Da ein Kriterium zu sich selbst im Verhältnis “1” steht, erscheinen in der Hauptdiagonalen *Einser*.

Um diese Zusammenhänge anschaulich darzustellen, seien drei beliebige, für einen Pkw ansetzbare Bewertungskriterien gegenübergestellt (vgl. Bild 2).

Wird in diesem Beispiel das Kriterium A (Sicherheit) als dreimal wichtiger gegenüber dem Kriterium B (Komfort) geschätzt, so ergeben sich die in Bild 2 eingetragenen Wichtigkeitsverhältnisse

$$p_{AB} = 3 p_{BA} \text{ und } p_{BA} = \frac{p_{AB}}{3} .$$

Ordn. Nr.	Bew.-Kriterium	A	B	C	Gewichtungs-faktoren	normierte Gew.faktoren
A	Sicherheit	1	3	1/2	1.145	0.300
B	Komfort	1/3	1	1/6	0.382	0.100
C	Entsorgbarkeit	2	6	1	2.289	0.600

$\Sigma g_{norm} = 1.000$

Bild 2. Beispiel einer Gewichtungsmatrix; Ermittlung aller Wichtigkeiten und der Gewichtungsfaktoren bei ins Verhältnis gesetzten Wichtigkeiten

Es ist sofort erkennbar, daß sich sämtliche Wichtigkeiten, die unterhalb der Hauptdiagonalen stehen, nach folgendem Gesetz ermitteln lassen:

$$p_{BA} = \frac{1}{p_{AB}} \tag{1}$$

usw.

In gleicher Weise werden auch die Wichtigkeitsverhältnisse zwischen dem Kriterium A und dem Kriterium C (Entsorgbarkeit) und, falls vorhanden, zwischen dem Kriterium A und allen weiteren Kriterien bestimmt und in die Gewichtungsmatrix eingetragen.

Im Falle paarweise normierter Wichtigkeiten all wird die Summe der Wichtigkeiten zweier Kriterien zueinander zu 100% festgesetzt und das prozentual aufgeteilte Wichtigkeitsverhältnis auf “1” normiert.

Für die Felder unterhalb der Hauptdiagonalen gilt

$$p_{BA} = 1 - p_{AB} \tag{2}$$

usw.

Da ein Kriterium gegenüber sich selbst nicht gewichtet werden kann, erscheinen in der Hauptdiagonalen *Nullen*,

Die beschriebene Art der Fragestellung und der damit verbundenen Bestimmung der Wichtigkeiten ist jedoch nur für die Festlegung der ersten oder *einer* beliebigen anderen Zeile und deren an der Hauptdiagonalen der Gewichtungsmatrix gespiegelten Spalte zulässig.

Sind diese Wichtigkeiten bestimmt, so sind alle weiteren Wichtigkeiten nach der *Transitivitätsregel* und den dazu analogen Gesetzmäßigkeiten festgelegt. Die Transitivitätsregel lautet mit den hier eingeführten Größen bekanntlich:

Wenn das Kriterium A gleich wichtig ist wie das Kriterium B und gleich wichtig wie das Kriterium C, dann *muß* das Kriterium B gleich wichtig sein wie das Kriterium C oder, mathematisch formuliert (p_{AB} lies: Wichtigkeit des Kriteriums A gegenüber der Wichtigkeit des Kriteriums B):

Wenn $p_{AB} = p_{BA}$ und $p_{AC} = p_{CA}$, dann *muß* $p_{BC} = p_{CB}$ sein.

Analog dieser Gesetzmäßigkeit gilt für das hier betrachtete Beispiel die folgende Überlegung:

“Wenn die Sicherheit wichtiger ist als der Komfort und weniger wichtig als die Entsorgbarkeit, dann *muß* die Entsorgbarkeit wichtiger sein als der Komfort!”

Insgesamt lassen sich zwölf weitere Gesetzmäßigkeiten analog der Transitivitätsregel feststellen, aus denen sich die beschriebenen Abhängigkeiten des jeweils dritten vom zweiten und ersten Kriterium herleiten läßt. Diese sind in [3] beschrieben und gelten innerhalb einer jeden Gewichtungsmatrix mit n Kriterien für alle Wichtigkeiten $p_{(i=2, j=3)}$ bis $p_{(i=n-1, j=n)}$, nachdem die Wichtigkeiten der ersten Zeile nach reiflicher Überlegung und der beschriebenen Vorgehensweise bestimmt worden sind.

Diese Gesetzmäßigkeiten gelten ebenso für die Ermittlung der Wichtigkeiten nach dem *Rangfolgeverfahren* [4], [10] sowie der Gewichtung mit Hilfe der *Präferenzmatrix* [9]. Sie gelten aber auch für die Festlegung von *Bewertungswerten (Maßzahlen)* bei der in [7] beschriebenen Verfahrensweise.

Für letztere gelten auch die folgenden Erläuterungen, die zur vollständigen *Konsistenz* (Widerspruchsfreiheit) der dadurch grundsätzlich überflüssig gewordenen Gewichtungsmatrizen sowie der Matrizen zur Ermittlung der Bewertungswerte führen.

Diese Konsistenz ergibt sich zwangsläufig aus den exakten mathematisch-logischen Zusammenhängen aller Wichtigkeiten des 2. bis n -ten Kriteriums gegenüber dem 3. bis $(n-1)$ -ten Kriterium, nachdem die Wichtigkeitsverhältnisse des 1. Kriteriums gegenüber dem 2. bis n -ten Kriterium festgelegt wurden.

Für die Bestimmung der **Folgewichtigkeiten verhältnismäßiger Wichtigkeiten** gilt:

Wenn sich die Wichtigkeit des Kriteriums B gegenüber derjenigen des Kriteriums A wie $\frac{p_{BA}}{p_{AB}} = \frac{1/p_{AB}}{p_{AB}}$ und die Wichtigkeit des Kriteriums C gegenüber derjenigen des Kriteriums A wie $\frac{p_{CA}}{p_{AC}} = \frac{1/p_{AC}}{p_{AC}}$ verhält, *muß* sich die Wichtigkeit des Kriteriums C gegenüber derjenigen des Kriteriums B entsprechend

$$\frac{p_{CB}}{p_{BC}} = \frac{1/p_{AC}}{p_{AC}} \cdot \frac{p_{AB}}{1/p_{AB}} \quad (3)$$

verhalten.

Das Produkt der Wichtigkeiten des Kriteriums B gegenüber C, also p_{BC} , und des Kriteriums C gegenüber B, also p_{CB} , muß gemäß dem Ansatz der Verhältnismäßigkeit "1" betragen. Damit ergibt sich

$$p_{BC} = \frac{1}{p_{CB}} \quad (4)$$

Mit p_{CB} aus Gl. (3) ergibt sich

$$p_{BC} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1/p_{AC}}{p_{AC}}\right) \cdot \left(\frac{1/p_{AB}}{p_{AB}}\right)}} \quad (5)$$

Für eine Gewichtungsmatrix mit n Kriterien und den Indizes $i = i$ -te Zeile und $j = j$ -te Spalte ergeben sich somit folgende allgemeingültigen Gleichungen:

$$p_{(i,j)} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1/p_{(1,j)}}{p_{(1,j)}}\right) \cdot \left(\frac{1/p_{(1,i)}}{p_{(1,i)}}\right)}} = \frac{p_{(1,j)}}{p_{(1,i)}}, \quad i = 1, n; j = 1, n \quad (6)$$

bzw.

$$p_{(i,j)} = \frac{1}{p_{(j,i)}}, \quad i = 1, n; j = 1, n. \quad (7)$$

Für die Bestimmung der **paarweise normierten Wichtigkeiten** gelten die beschriebenen Zusammenhänge ebenfalls und führen zu analogen Gleichungen.

Die in einer zusätzlichen Spalte zusammengefaßten *Gewichtungsfaktoren* (vgl. Bild 2) der *verhältnismäßigen Wichtigkeiten* der einzelnen Kriterien ergeben sich aus der Multiplikation der n Wichtigkeiten, die in den jeweiligen Zeilen eingetragen bzw. berechnet wurden, und der anschließenden Ziehung der n -ten Wurzel aus diesem Produkt (*geometrisches Mittel*), also aus

$$g_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n p_{(i,j)}} \quad (8)$$

Bei konsistenten Gewichtungsmatrizen, wie sie sich nach den vorangestellten Überlegungen zwangsläufig ergeben müssen, ist das Ausfüllen der Gewichtungsmatrix allerdings grundsätzlich unnötig, da ja durch die Festlegung der ersten oder einer beliebigen anderen Zeile alle mathematischen Zusammenhänge durch die Gleichungen (6) bzw. (7) eindeutig festgelegt sind [5]. Denn der Gewichtungsfaktor einer beliebigen Zeile i berechnet sich aus der Summe aller Zeilenelemente gemäß Gl. (6), also gemäß

$$g_i = \frac{p_{(1,1)}}{p_{(1,i)}} + \dots + \frac{p_{(1,n)}}{p_{(1,i)}} = \frac{1}{p_{(1,i)}} \sum_{j=1}^n p_{(1,j)} \quad (9)$$

Damit ergibt sich die Summe aller Wichtigkeiten und damit aller Gewichtungsfaktoren aus

$$g_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{p_{(1,i)}} \sum_{j=1}^n p_{(1,j)} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{(1,i)}} \cdot \sum_{j=1}^n p_{(1,j)} \quad (10)$$

Durch Einführung der normierten Gewichtungsfaktoren $g_{i\text{norm}} = g_i / g_{\text{ges}}$ läßt sich Gl. (10) unter Verwendung von Gl. (9) erweitern auf

$$g_{i\text{norm}} = \frac{\frac{1}{p_{(1,i)}} \sum_{j=1}^n p_{(1,j)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{(1,i)}} \cdot \sum_{j=1}^n p_{(1,j)}} = \frac{1}{p_{(1,i)}} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{(1,i)}}} \quad (11)$$

Diese Gleichung liefert unter alleiniger Verwendung der ersten Matrixzeile des eingeführten Beispiels, also $p_{(1,i)} = [1 \ 3 \ 1/2]$, die Gewichtungsfaktoren $g_{i\text{norm}} = [0.3 \ 0.1 \ 0.6]$. Dieses Ergebnis aber entspricht den normierten Gewichtungsfaktoren gemäß Bild 2.

Bei konsequenter Anwendung der Gleichungen (6) und (7) wird also die von *T. L. Saaty* in [8] behandelte und von *R. Knosala* in [7] aufgegriffene Theorie zur Erkennung und Verbesserung der Konsistenz von Gewichtungs-, Bewertungs- und Entscheidungsmatrizen überflüssig.

Allerdings wird sich bei manchen Entscheidungsträgern ein gewisses Unbehagen bei dem Gedanken einstellen, die paarweisen Vergleiche der 2. bis n -ten Kriterien mathematisch-logischen Gesetzmäßigkeiten zu überlassen. Dies ist verständlich, weshalb die von *T. L. Saaty* beschriebenen Zusammenhänge, deren Analyse und praktische Anwendung auch weiterhin ihre - allerdings nur psychologisch begründbare - Berechtigung haben.

Für die Verarbeitung von Gewichtungsmatrizen mit dem Computer - wie dies im Fall des computergestützten heuristischen Prozesses angesichts der enorm großen Anzahl zu bewertender Varianten erforderlich ist - ergibt diese Erkenntnis eine enorme Einsparung an Rechnerzeit.

4. Ausblick

Da heuristische Prozesse - und nicht nur computergestützte - sehr häufig zu einer sehr großen Menge von Lösungen führen, ist eine Bewertung mit dem Ziel, eine überschaubare Lösungsmenge zu erhalten, in jedem Fall erforderlich. Die Bewertung ist somit als eine der wichtigsten Entscheidungshilfen anzusehen - auch wenn sie, wie im Falle programmierter Prozesse, einem gewissen Automatismus unterliegt.

Da Entscheidungen - gleich welcher Art - überwiegend subjektiven Charakter haben, sollten zumindest die heranzuziehenden Entscheidungsgrundlagen so objektiv wie möglich sein. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Vorgehensweise und hier insbesondere die Gruppenarbeit bei der Ermittlung der Gewichtungsfaktoren *und* der Bewertungswerte (Maßzahlen) bei der Durchführung von Bewertungen, beispielsweise nach *R. Knosala* [7]. Ein wei-

terer Schritt ist die mathematisch-logische Ermittlung absolut konsistenter Wichtigkeiten bzw. Gewichtungsfaktoren. Darüberhinaus bestehen bekanntlich eine Anzahl von Prüfmöglichkeiten wie Wahrscheinlichkeits-, Plausibilitäts-, Sensibilitäts- und andere Prüfmethoden.

Da sich derartige Bewertungs- und zugehörige Prüfmethoden programmieretechnisch erfassen und dort als interaktive Schritte einbinden lassen, sind sie für die glaubwürdige Optimierung von in computergestützten Konstruktionsprozessen generierten Lösungen von größter Wichtigkeit.

5. Literaturverzeichnis

- [1] A. Breiing Bewertung von Konstruktionsvarianten technischer Systeme
Zeitschrift Schweizer Maschinenmarkt, Hefte 9 und 12, 1990.
- [2] A. Breiing Rechnergestütztes Entwerfen auf der Basis einer
morphologischen Datenbank
WDK 20, Proceedings of ICED 91, Vol. 2, S. 1000.
- [4] A. Breiing Theorie und Methoden des Konstruierens
M. Flemming Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York ... 1993.
- [5] R. Gutsch Entscheidungshilfe durch Systemtechnik
Lehrgang an der Technischen Akademie Esslingen 1972.
- [7] E. Kalhöfer Aufsatz "Weiterführung der Gedanken von A. Breiing
zur Gewichtung von Bewertungskriterien"
Darmstadt 1993.
- [8] F. Kesselring Bewertung von Konstruktionen
Deutscher Ingenieur-Verlag GmbH, Düsseldorf 1951.
- [9] R. Knosala Objektivierung des Bewertungsprozesses beim Konstruieren
Zeitschrift Konstruktion 43 (1991).
- [10] T. L. Saaty The Analytic Hierarchy Process
McGraw-Hill Book Company, New York 1980.
- [11] Siemens AG Organisationsplanung - Planung durch Kooperation
Siemens AG, Berlin München 1974.
- [12] R. Wenzel Entscheidungsfindung in Theorie und Praxis
J. Müller VDI-Seminar, Stuttgart 1971.

Gutachter: Ryszard Knosala