

Integration von Berechnungen im Modulbildungsprozess

Piotr Gendarz

Zusammenfassung Im Modulbildungsprozess von Konstruktionen ist die Diskretisierung der Abmessungswerte von Elementenkonstruktionen eine der wichtigsten Fragen. Es gibt hier zwei gegensätzliche Kriterien: die minimale Zahl von Konstruktionsmodulen, was mit der Steigerung der Serienherstellung verbunden ist und die minimale Überdimensionierung der Konstruktion, die mit der Minimalisierung der Elementenmasse zusammenhängt. Was hier angewendet wurde, ist die automatische Klassifikation. Unter den verschiedenen Methoden der automatischen Klassifikation wurde die iterative Klassifikation gewählt, die der Klassifikation der Elementenkonstruktion angepaßt und um das Wahlmodul der Klassenvertreter ausgebaut wurde. Grundlage für die Erarbeitung der computergestützten Entwicklung von Modulbildungsprozessen der Konstruktionen war die integrale Verbindung der Auswahl von Abmessungswerten mit der automatischen Klassifikation.

1 Einführung

Im Bereich der als Konstruktionsmenge verstandenen Konstruktionsfamilie, die einem allgemeinen System entspricht, werden Umformungen durchgeführt, um von ungeordneter Form zur geordneten Form zu kommen. Es finden hier Umformungen in der Bedürfnissphäre und in der Konstruktionssphäre. Die Bedürfnissphäre wird durch charakteristische Merkmale beschrieben. Charakteristische Merkmale sind Eigenschaften, die das zukünftige technische Mittel wegen seiner Verbindung mit der Umgebung bezeichnen sollten (z.B. zu charakteristischen Merkmalen bei hydraulischen Zylinder gehören u.a. kolbenseitige Kraft, kolbenstangenseitige Kraft, Nenndruck, zugelassene max. Länge, Hub). Die Konstruktionsmerkmale sind das Eigenschaften, die ein zukünftiges Element (oder eine Elementenmenge) wegen der realisierten elementaren Tätigkeit, der Herstellungsart und -weise sowie der Herstellungskosten haben sollte. Die eingehende Beschreibung des Bildungsprozesses einer geordneten Konstruktionsfamilie in Form des Modulsystems wurde in den Arbeiten [2, 3] dargestellt. Im diesem Prozeß werden die Werte charakteristischer Merkmale begrenzt und geordnet und bilden dadurch unifizierte Werte charakteristischer Merkmale. Die Konstruktionsmerkmale dagegen werden in qualitative Merkmale (Konstruktionsgestalt) und quantitative Merkmale (Abmessungen) aufgeteilt. Das Ergebnis der Ordnung von qualitativen Konstruktionsmerkmalen sind typische Konstruktionslösungen, denen typische Konstruktionsgestalten von Elementen und Abmessungsanordnungen entsprechen (Abb.1).

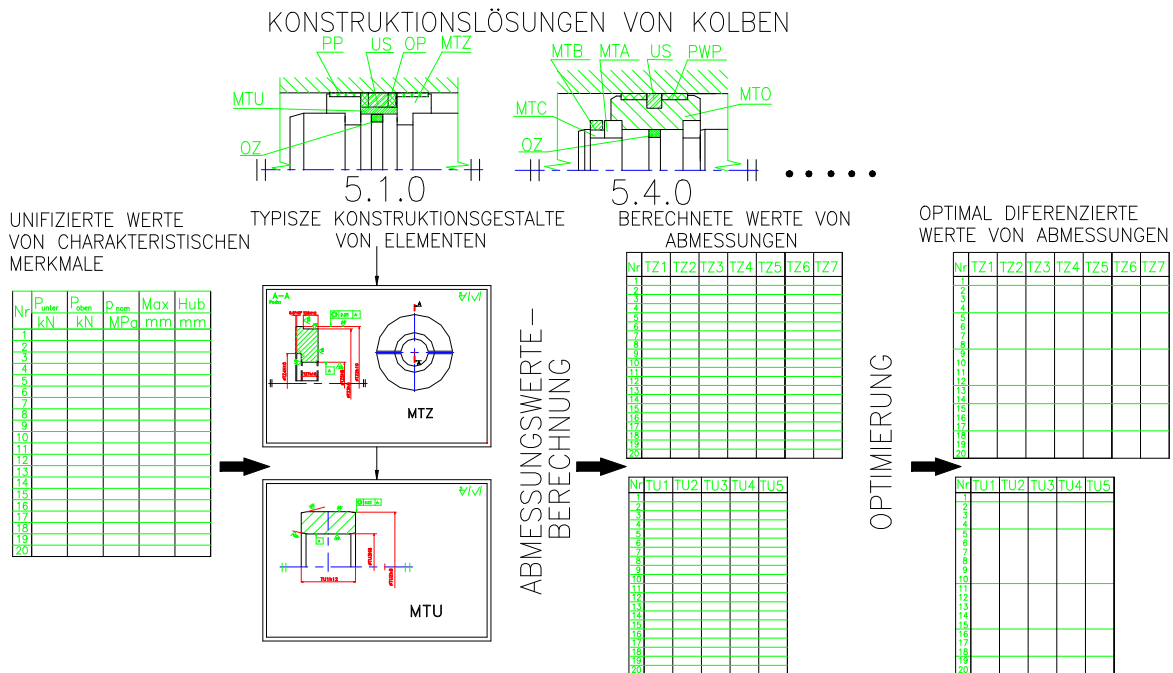


Abb. 1. Bildung der Konstruktionsmodule

Die quantitativen Konstruktionsmerkmale, die hauptsächlich in dieser Arbeit in Erwägung gezogen werden, werden ausgewählt, verifiziert und optimiert. Bei der Auswahl und Verifizierung der Abmessungswerte werden folgende Relationsgruppen angewendet [4]: geometrische Relationen, Festigkeitsrelationen, Relationen, die die Mitwirkung von normierten Elementen betrachten, Relationen, die den Produktionsprozeß betrachten, Relationen von Konstruktionsähnlichkeit zur bearbeiteten Konstruktionen, Relationen zwischen Maßen der mitwirkenden Elemente.

Die Auswahl und Verifizierung der Abmessungswerte neigt besonders zu Algorithmisierung, ist aber nur auf eine bestimmte Konstruktionsfamilie orientiert. Die Optimierung der Vielfältigkeit von Abmessungswerten ist jedoch eine universelle Frage, die verschiedene Konstruktionsfamilien betreffen kann und hat vor allem Einfluß auf die Anzahl von Konstruktionsmodulen in geordneten Konstruktionsfamilien. In Hinsicht auf das Umwandlergebnis von Abmessungswerten können einer bestimmten typischen Konstruktionsgestalt des Elementes e_i zwei extreme Zustände zugeordnet werden, (Abb.2):

S1 dem ganzem Wertebereich charakteristischer Merkmale entspricht ein Konstruktionsmodul, S2 jedem Vektor charakteristischer Merkmale entspricht ein Konstruktionsmodul.

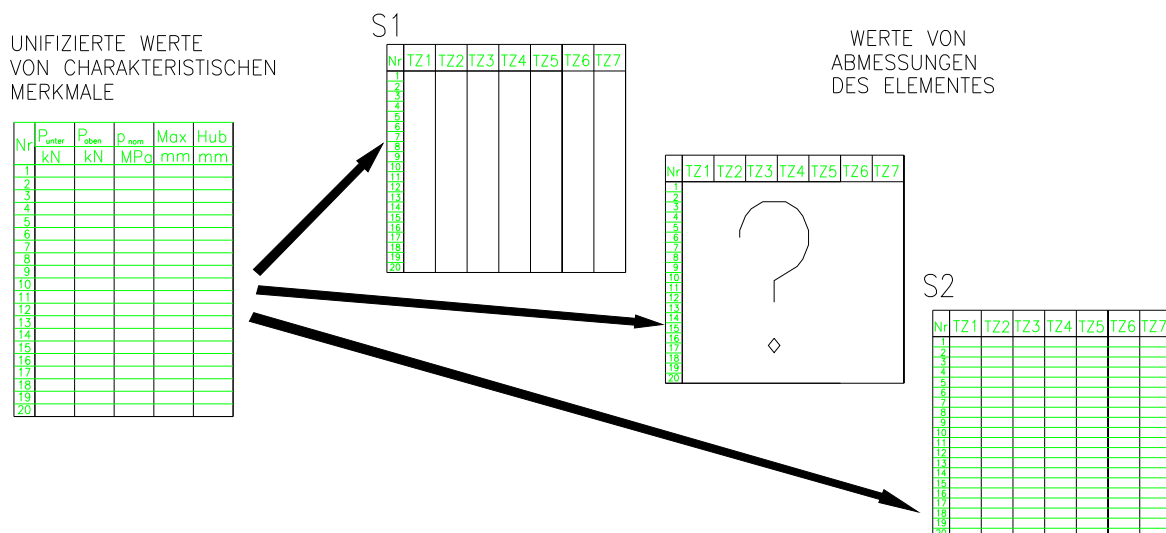


Abb. 2 Illustration des Optimierungsproblems

Der S1 Zustand ist vor allem wegen der Serienherstellung, der Austauschbarkeit des Elementes vorteilhaft, dagegen der S2 Zustand ist wegen der Minimalisierung der Überdimensionierung der Konstruktion, also der Minimalisierung der Masse, maximalen Anstrengung des Materials günstig. Um das Problem der Optimierung der Vielfältigkeit von Abmessungswerten zu lösen, wurde die automatische Klassifikation angewendet.

2. Optimierung der Vielfältigkeit von Abmessungswerten

Die Eingabedaten für die Optimierung der Vielfältigkeit von Abmessungswerten ist die Tafel mit ausgewählten und verifizierten Abmessungswerten des Elements e_i :

$$W^{el} = w_{ju}^{el} (j = 1, j_z; u = 1, u_z) \quad (1)$$

wo: el - Bezeichnung des Elementes,
 j - Nummer der Zeile aus der Datentabelle ($1, j_z$),
 l - Nummer der Spalte ($1, l_z$).

Betrachtet werden nur variable Abmessungen, d.h. die, deren Werte sich samt der Änderung von Werten charakteristischer Merkmale ändern werden. Die Datentabelle für die Elementenkonstruktion in allgemeiner Form wurde in Abb. 3 dargestellt.

K^{el}	W_1^{el}	W_2^{el}	W_3^{el}		W_u^{el}		$W_{u_z}^{el}$
k_1^{el}	W_{11}	W_{12}	W_{13}		W_{1u}		W_{1u_z}
k_2^{el}	W_{21}	W_{22}	W_{23}		W_{2u}		W_{2u_z}
k_3^{el}	W_{31}	W_{32}	W_{33}		W_{3u}		W_{3u_z}
⋮							
⋮							
k_j^{el}	W_{j1}	W_{j2}	W_{j3}		W_{ju}		W_{ju_z}
⋮							
k_k^{el}	W_{k1}	W_{k2}	W_{k3}		W_{ku}		W_{ku_z}
⋮							
k_m^{el}	W_{m1}	W_{m2}	W_{m3}		W_{mu}		W_{mu_z}
⋮							
⋮							
$k_{j_z}^{el}$	W_{j_z1}	W_{j_z2}	W_{j_z3}		W_{j_zu}		$W_{j_zu_z}$

Abb. 3 Datentabelle

Die Optimierung wird auf zwei Stufen durchgeführt:

- 1) Bildung der optimalen Partition - Klassifikation,
- 2) Wahl der Klassenvertreter.

2.1 Bildung der optimalen Partition

Das Klassifikationsmodell wurde durchgeführt auf Grund der Arbeiten [1, 2].

Es wurden folgende Klassifikationsvoraussetzungen eingeführt:

- * die gebildete Partition ist eine getrennte Anordnung $A_l \cap A_n = 0$,
- * die Eingabedaten sind determinierte Daten,
- * es werden Ein-Element-Klassen zugelassen.

Im Klassifikationsmodell wurde die Euklidische Metrik d_{jk}^2 als Maß der Differenziertheit unter den Konstruktionen k_j^{el} (k_j) a k_k^{el} (k_k) angenommen:

$$d_{jk}^2 = \sum_{u=1}^{u_z} (w_{ju} - w_{ku})^2 \quad (2)$$

Diese Metrik erfüllt folgende Voraussetzungen:

$d_{jk}^2 \geq 0$, $d_{kk}^2 = 0$, $d_{jk}^2 = d_{kj}^2$, $d_{jk}^2 \leq d_{jm}^2 + d_{km}^2$ - Bedingung der Metrikeit

Grundlage für die Bewertung der Partition $U = \{A_1, \dots, A_z\}$ ist das Maß der Klassenstreuung $h(A_l)$ (Homogenität), die bestimmt wird nach der Abhängigkeit:

$$h(A_l) = \sum_{k \in A_l} \sum_{u=1}^{u_z} (w_{ku} - \bar{w}_{A_l})^2 \quad (3)$$

wo:
$$\bar{w}_{A_l} = \frac{1}{n_{A_l}} \sum_{l=1}^{A_l} w_{lu} \quad (4)$$

n_{A_l} - Zahl der Konstruktionen in der Klasse.

Die Abhängigkeit (3) und (4) kann durch die Abhängigkeit:

$$h(A_l) = \frac{1}{2n_{A_l}} \sum_{k \in A_l} \sum_{j \in A_l} d_{kj}^2. \quad (5)$$

ersetzt werden.

Das zweite Bewertungsmaß der Klassen ist das Trennungsmaß unter den Klassen A_l und A_n , (Heterogenität), das bestimmt wird mit der Abhängigkeit:

$$D_{A_l A_n} = \sum_{u=1}^{u_z} (\bar{w}_{uA_l} - \bar{w}_{uA_n})^2 = \frac{1}{n_l n_n} \sum_{k \in A_l} \sum_{j \in A_n} d_{kj}^2. \quad (6)$$

Das Ziel dieser Klassifikation ist eine optimale Partition $U^* = \{A_1^*, \dots, A_\alpha^*\}$ zu erhalten, (wo α die optimale Zahl der Klassen ist), die folgende Kriterien erfüllt:

K1 die Partition sollte sich durch möglichst wenig zerstreute Klassen charakterisieren,

$$H(U_\beta) = \sum_{l=1}^{\beta} h(A_l) \rightarrow \text{Min}, \text{ wo } \beta - \text{ die vorausgesetzte Zahl der Klassen ist,}$$

K2 die Partition sollte sich durch die höchste Trennung unter den Klassen charakterisieren,

$$D(U_\beta) = \sum_{l=1}^{\beta-1} \sum_{n>l}^{\beta} D_{A_l A_n} \rightarrow \text{Max.}$$

Die Zahl der möglichen Partitionen (für die Zahl klassifizierter Konstruktionen k_{jz} und vorausgesetzter Zahl von β Klassen) wurde in [1] durch die Abhängigkeit:

$$L(k_{jz}, \beta) = \frac{1}{\beta!} \sum_{r=0}^{\beta} (-1)^r \binom{\beta}{r} (\beta-r)^{k_{jz}}. \quad (7)$$

bestimmt.

Für die Zahl klassifizierter Konstruktionen $k_{jz}=15$ und die Zahl der Klassen $\beta=5$ sind $2.734 \cdot 10^9$ Partitionen möglich. Um schneller die optimale Partition zu erreichen, ist ein methodisches Verfahren nötig. Unter den verschiedenen Klassifikationsmethoden [1] wurde in dieser Arbeit die Anwendung der iterativen Klassifikation dargestellt. Sie beruht auf einer iterativen Vervollkommnung der Partitionen für die vorausgesetzte Zahl von β Klassen das heißt:

$$H(U_\beta^0) > H(U_\beta^1) > H(U_\beta^2) > \dots > H(U_\beta^z) = H(U_\beta^*). \quad (8)$$

Es findet hier der folgende Verfahrensalgorithmus statt:

1) für jede Konstruktion k_j wird geprüft, ob durch ihre Verlagerung von der Klasse A_l^β zu einer der sonstigen Klassen A_n^β zur Erfüllung der Ungleichung

$$\frac{n_l}{n_l - 1} \|\bar{w}_l - w_j\|^2 > \frac{n_n}{n_n + 1} \|\bar{w}_n - w_j\|^2$$

führen wird,

2) wird die obige Ungleichung erfüllt, dann wird die Konstruktion k_j in eine neue Klasse übertragen und die Bewertungsmaße der Partition werden erneut berechnet,

3) der iterative Prozeß dauert so lange, bis keine weitere Übertragung der Konstruktion die Summenhomogenität verbessert,

4) für die so bestimmte Partition wird die nächste Summentrennung unter den Klassen $D(U_\beta)$ berechnet.

Gegenstand bisheriger Erwägungen war die Partitionen für die gegebene Zahl von Klassen zu bestimmen. Im Modulbildungsprozeß von Konstruktionen ist es notwendig, daß die optimale Zahl von Klassen ausgewählt wird, um die Zahl von Konstruktionsmodulen festzulegen. Deshalb wird der Klassifikationsprozeß für die Zahl von Klassen aus dem bestimmten Bereich $\beta=(N1, \dots, N2)$, im extremen Fall von $(1, \dots, k_{jz})$, durchgeführt. Um die optimale Zahl der Klassen und dann global die optimale Partition U_β^{**} , zu bestimmen, wurde die Zielfunktion:

$$G(U_{\beta}^*) = \frac{1}{\binom{\beta}{2}} D(U_{\beta}^*) - \frac{1}{\beta} H(U_{\beta}^*). \quad (9)$$

entwickelt.

Die Grundlage für die Bestimmung des globalen Optimums ist der maximale Wert der Zielfunktion:

$$G(U_{\alpha}^{**}) = \text{Max}(G(U_{\beta}^*)) ; \text{für } \beta=(N1,N2). \quad (10)$$

Die gebildete Partition ist die Grundlage für die Wahl der Klassenvertreter.

2.2 Wahl der Klassenvertreter

Die Grundlage für die Wahl der Klassenvertreter sind die maximalen Werte charakteristischer Merkmale, die den Klassen entsprechen, Abb. 4. In Abb. 4b wurde das Klassifikationsergebnis von 10 Elementenkonstruktionen UJ dargestellt, die in 4 Klassen $U_4^{**} = \{K1, K2, K3, K4\}$ erfaßt wurden.

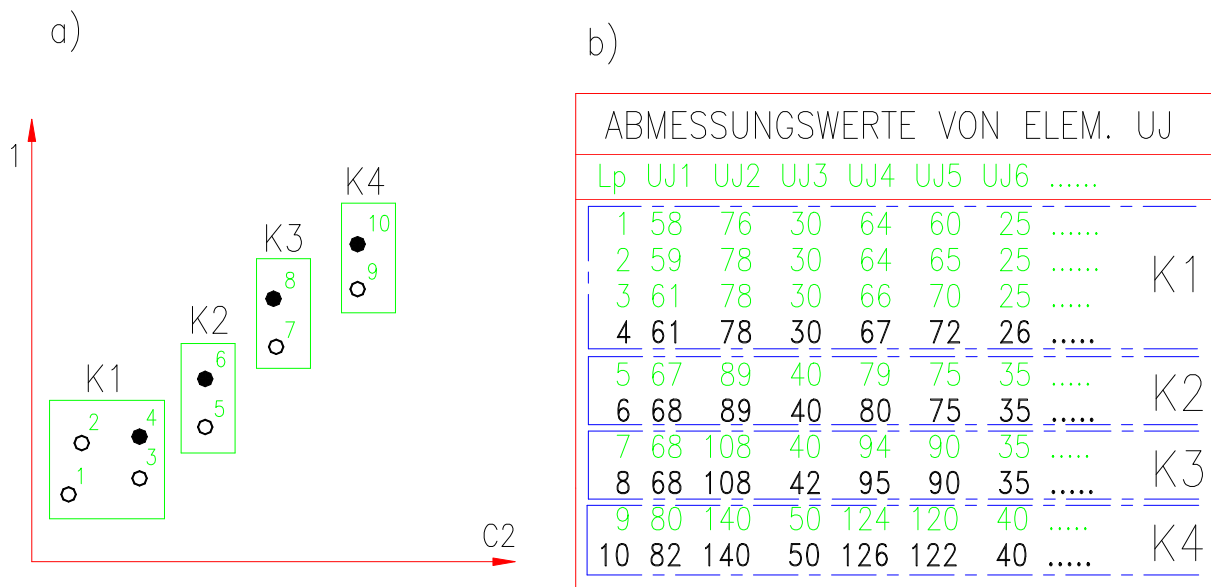


Abb. 4 Illustration der Wahl von Klassenvertretern

Der geordnete Raum von Bedürfnissen wurde für zwei charakteristische Merkmale in Abb. 4a dargestellt. Jedem Punkt des Raumes von Bedürfnissen entspricht eine Konstruktion, und das erlaubt das Ergebnis der Konstruktionsklassifikation in den Raum der Bedürfnisse zu übertragen, was mit Rechtecken bezeichnet wurde. Die maximalen Werte charakteristischer Merkmale, die den Klassen entsprechen, wurden mit einem ausgefüllten Kreis bezeichnet. Diesen Punkten entsprechen die Konstruktionen des Elementes UJ, die in der Tabelle mit Fettdruck gekennzeichnet wurden, und die die Sammlung typischer Konstruktionen bilden.

3 Intergration von Berechnungsmodellen

Um ein Modulsystem von Konstruktionen zu bekommen, ist außer den genannten Kriterien zusätzlich das Identitätskriterium der gekoppelten Abmessungen zu erfüllen, Abb. 5. In Abb. 5a wurden die gekoppelten Abmessungen von zwei mitwirkenden Elementen UJ und RW dargestellt. Die Abhängigkeiten zwischen den gekoppelten Abmessungen wurden in Form eines Graphs in Abb. 5b dargestellt.

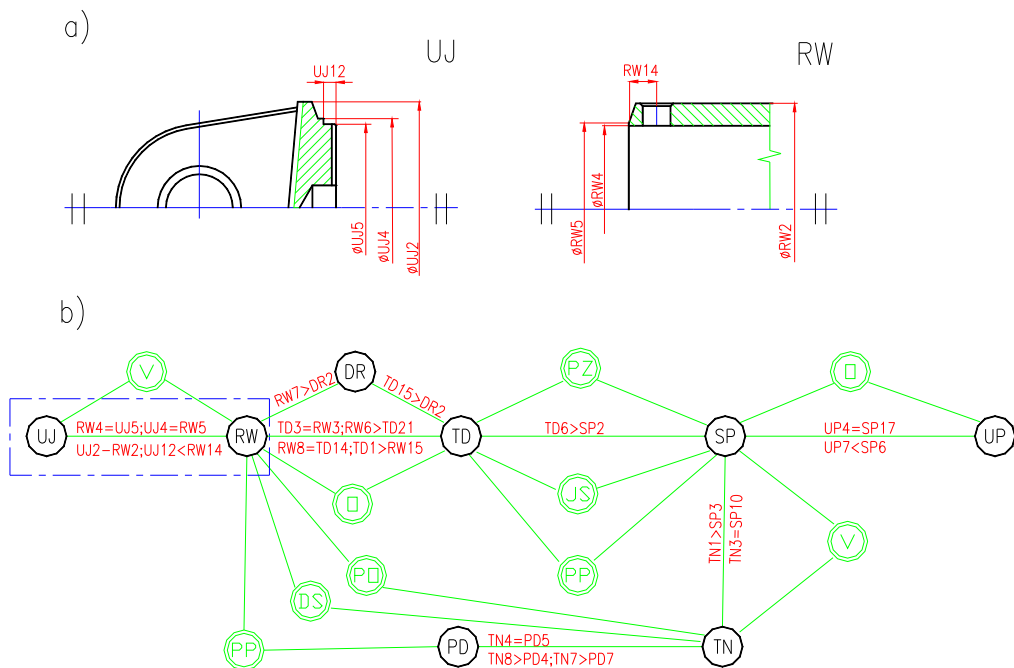


Abb. 5 Gekoppelte Abmessungen und Kopplungsgraph

Der Graph, der Kopplungsgraph genannt wird, ist die Grundlage für die Integration von Berechnungsmodellen der Auswahl quantitativer Konstruktionsmerkmale mitwirkender Elemente mit der Optimierung von Vielfältigkeit dieser Merkmale. Diese Integration beruht auf der Auswahl und Verifizierung quantitativer Konstruktionsmerkmale, die mit dem Element beginnt, das am engsten mit den Werten charakteristischer Merkmale e_1 verbunden ist. Danach wurde die Optimierung für das Element e_1 durchgeführt. Die vereinheitlichten Werte gekoppelter Abmessungen e_1 wurden direkt bei der Auswahl und Verifizierung des nächsten mitwirkenden Elementes e_2 übernommen. Der Prozeß wiederholte sich so lange, bis das globale Extremum der Optimierung für sämtliche konstruierte Elemente des technischen Mittels erreicht wurden. So gebildete Konstruktionen bildeten Konstruktionsmodule, die nach den Auswahlregeln gewählt wurden, indem auf der Relation zwischen den Werten von Konstruktionsmerkmalen und den Modulnummern sowie der Relation zwischen den ausgewählten Typen der Konstruktionslösung und dem Typ des Konstruktionsmoduls basiert wurde. Der Modulbildungsprozeß wurde am Beispiel des Modulbildungssystems von Überlastungskupplungen und hydraulischen Zylinder getestet. Im Modulsystem der hydraulischen Zylinder waren auf Grund des breiten Spektrums der Konstruktionsvielfältigkeit 58 Typen von Elementen Gegenstand der Optimierung der Vielfältigkeit von Abmessungswerten.

4 Literatur

- [1] H. H. Bock: Automatische Klassifikation. Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen 1974.
- [2] P. Gendarz: Grundsätze der Optimierung der Vielfältigkeit von Konstruktionen technischer Mittel im Prozeß der Typenreihenbildung. Dissertation TH Gliwice 1983
- [3] P. Gendarz: "Modulbildungsprozeß im Bereich Konstruktionsfamilie". Materialien 3 Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren" 15/16.10.1992. Egloffstein, s. 92 - 108.
- [4] P. Gendarz: "Relationen bei der Bearbeitung von quantitativen Konstruktionsmerkmalen im Modulbildungsprozeß". Materialien 4 Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren", 14/15.10.1993, s. 85 - 98.

Dr.-Ing. Piotr Gendarz, Lehrstuhl für Integrierte Fertigungssysteme

Schlesische Technische Universität,

44-100 Gliwice

ul. Konarskiego 18a

tel. +48 32 37 12 78

Fax. +48 32 37 16 24

e-mail: gen@apollo.mt.polsl.gliwice.pl