

## SERIENGERECHTES KONSTRUIEREN

Piotr Gendarz

### Zusammenfassung

Hauptproblem des Fertigungsgerechten Konstruierens ist die Serienproduktion sicherzustellen. Neuartige Anforderungen im Konstruktionsprozess und in der Fertigungsvorbereitung fordern nicht nur die Einführung neuzeitlicher Konstruktionslösungen, sondern auch den Einsatz bestimmter technischer Mittel, die ein breites Spektrum von möglichen Bedürfnissen berücksichtigen. Dies ist durch Anwendung von Modulsystemen in der Konstruktion möglich. Im Vortrag wird die Problematik der Serienproduktion auf Grund der Aggregation von Abmessungswerten angenommen. Aggregation hat Einfluss auf die Konstruktionsmodule im Modulsystem, so besteht Möglichkeit eine größere Anzahl von Gesamtkonstruktionen mit einer begrenzten Anzahl von Konstruktionsmodulen zu bilden.

### 1 Einführung

Im Prozess der Bildung einer geordneten Konstruktionsfamilie (z. B. Typenreihen, Modulsysteme von Konstruktionen) werden vier Hauptarten von Zuordnungen:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , zwischen Merkmalen ausgezeichnet, siehe Bild 1.

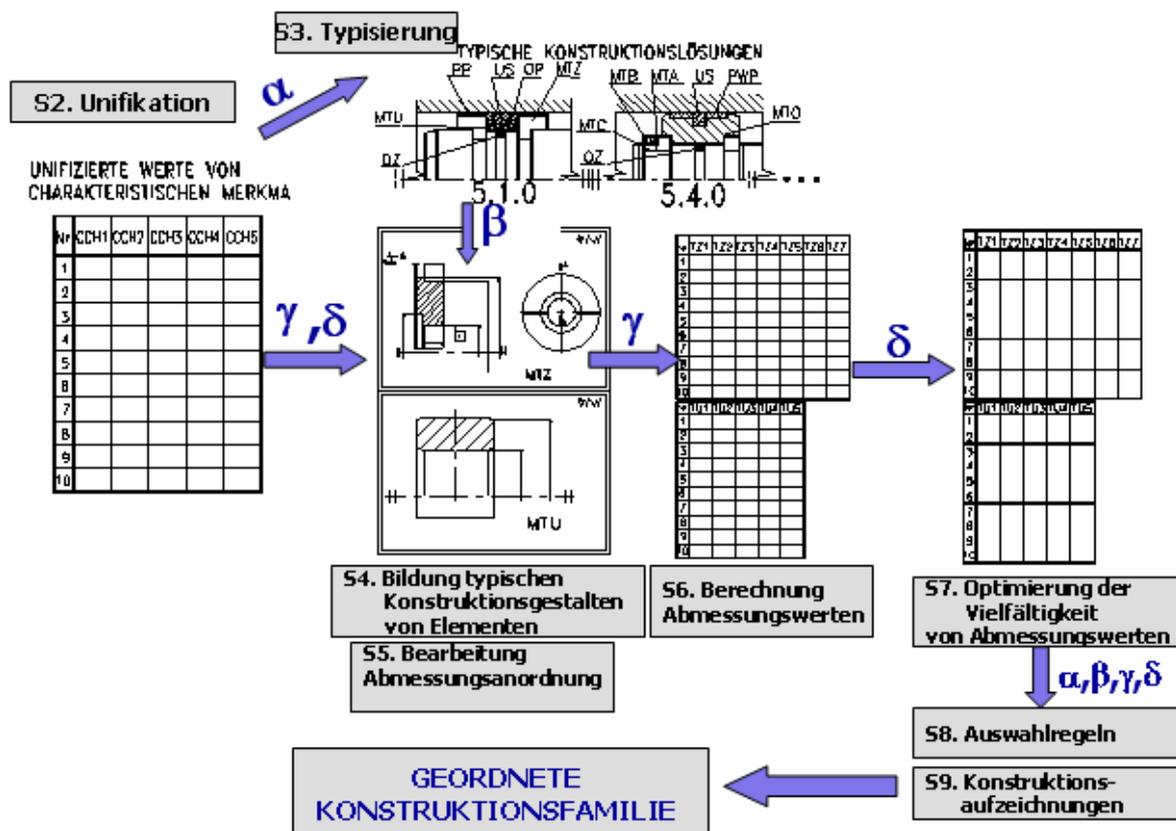


Bild 1: Zuordnungsmodell zwischen Merkmalen

Das sind die Zuordnungen [3]:

- $\alpha$  - umfasst die Relationen zwischen unifizierten Werten von charakteristischen Merkmalen und typischen Konstruktionslösungen,
- $\beta$  - umfasst die Relationen zwischen typischen Konstruktionslösungen und typischen Konstruktionsgestalten von Elementen,
- $\chi$  - umfasst die Relationen zwischen unifizierten Werten von charakteristischen Merkmalen und Abmessungswerten herstellenden Konstruktionselementen,
- $\delta$  - umfasst die Relationen zwischen unifizierten Werten von charakteristischen Merkmalen und Konstruktionsmodulen (Typengrößen).

Die oben vorgestellten Zuordnungen bilden Auswahlregeln von geordneten Bestandteilen der Konstruktionsfamilien [2, 3]. Quantitative charakteristische Merkmale sind auch als Parameter der Konstruktionsfamilie genannt. Die Höchste Form der Ordnung von Konstruktionsfamilien sind Modulsysteme von Konstruktionen (Baukastensysteme). Sie decken ein breites Spektrum von Bedürfnissen durch eine bestimmte Anzahl von technischen Mitteln ab. So können mit einer begrenzten Anzahl von Konstruktionselementen (Modulen), die Serienproduktion und niedrige Herstellkosten gesichert werden.

Von einer Seite wird eine Minimierung der Anzahl von Konstruktionsmodulen erzielt, die verbesserte Möglichkeiten der Serienproduktion bietet, andererseits wird eine Minimalisierung der Überdimensionierung (mit erhöhten Werten von Abmessungen) gesucht, die zu einer großen Anzahl von Konstruktionsmodulen führt. Ein zusätzliches Problem ist das Kriterium der Identität zwischen Massen mitwirkenden Elementen zu erreichen. Um die entstehende Antinomie zu lösen werden die Methoden der Aggregation von quantitativen Konstruktionsmerkmalen mit automatischer Klassifikation unterstützt. Als Ergebnis wird die Zuordnung  $\delta$  gebildet. Hauptmethoden der automatischen Klassifikation, die zu Klassifikation Konstruktionselementen angepasst werden, ist die hierarchische und iterative Klassifikation.

## 2 Extreme Zustände der Zuordnung $\delta$

Bei der Bildung geordneter Konstruktionsfamilien wird oft nur die Zuordnung  $\chi$  bearbeitet, siehe Bild 1, ohne die Aggregation der quantitativen Konstruktionsmerkmale zu berücksichtigen. So gebildete geordnete Konstruktionsfamilien verursachen im Herstellerbetrieb ökonomische Verluste [2], da in der Serienproduktion und auch Recyclingmöglichkeiten verloren gehen. Als Eingangsdaten in diesem Stadium sind: unifizierte Parametermatrix  $x_{ia}^u; (i=1, iz, a=1, az)$  und Abmessungsmatrix  $y_{ml}^e; (m=i; l=1, lv_j)$ , die bei der Bildung der Zuordnung  $\chi$  bestehen. Um die Problematik der Aggregation zu nutzen, sind bestimmte unifizierte Parametermatrix und die typische Konstruktionsgestalt des Elementes wichtig, im Ergebnis der Zuordnung  $\delta$  werden zwei extreme Zustände erwogen, (Bild 2):

- S1.** dem ganzen Wertebereich unifizierter Parameter entspricht ein Konstruktionsmodul,
- S2.** jeder Zeile der unifizierten Parametermatrix entspricht ein Konstruktionsmodul.

Der S1 Zustand ist vor allem wegen der Serienherstellung, der Austauschbarkeit des Elementes vorteilhafter, dagegen ist der S2 Zustand wegen der Minimalisierung der Überdimensionierung der Konstruktion, also der Minimalisierung der Masse, maximaler Ausnutzung des Materials günstiger.

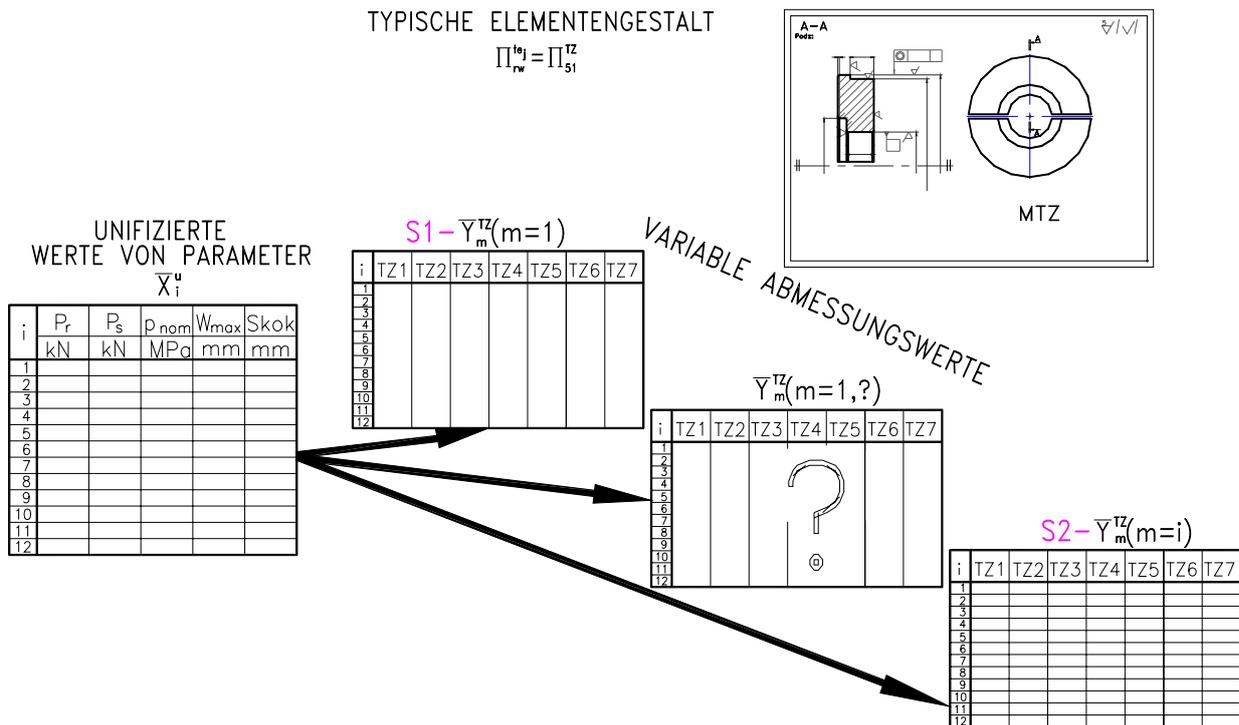


Bild 2: Illustration des Optimierungsproblems

Die Lösung der Antinomie im Vortrag wird mit Bildung der Zuordnung  $\delta$  mit der Methode Verbindungsrelationen vorgestellt. Als Ergebnis wird eine Zuordnung zwischen den Zeilen der unifizierten Parametermatrix (Bedürfnisvektoren)  $\bar{X}_i^u$  und den Konstruktionselementen  $ks_m^{te_j} (m=1, mz)$ , auf Grund der Agregation von Abmessungswerten  $WV_{il}^{te_j}; (l=1, lv)$  und Erfüllung Verbindungsrelationen zwischen Massen mitwirkenden Elementen nach dem Kopplungsgraph  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$  gebildet.

### 3 Verbindungsrelationen zwischen Maßen

Um die Optimierung der vielfältigen Abmessungswerte zwischen den Konstruktionselementen durchzuführen, müssen Verbindungsrelationen erfüllt werden. Dadurch wird eine kombinatorische Auswahl von begrenzten Konstruktionselementen erreicht und ein breites Spektrum von Bedürfnissen erfasst. Grundlage der Aufzeichnung von Verbindungsrelationen zwischen Maßen ist der Kopplungsgraph  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ . Ein Beispiel für einen solchen Graph für Konstruktionsfamilie eines Winkelgreifers ist auf dem Bild 3 vorgestellt.



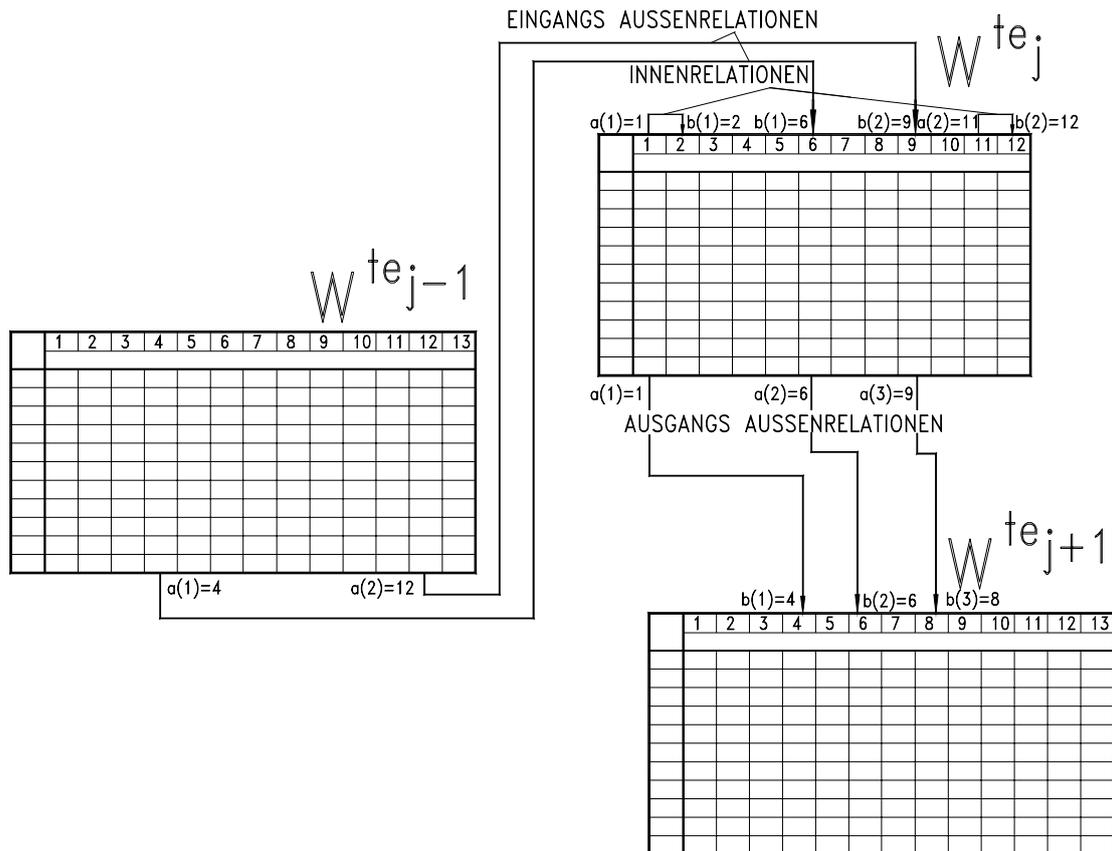


Bild 4: Modell von Verbindungsrelationen

Für Außenrelationen,

$$A Re_{j\pm 1} - e_j \rightarrow [a(k), rel(k), b(k)],$$

wo:  $e_{j\pm 1}$ ,  $e_j$  – Bezeichnung mitwirkender Elemente,  $k$  – folgende Nummer der Verbindung.

Dagegen für Innenrelationen des Konstruktionselementes  $ks^{ej}$ ,

$$I Re_j - e_j \rightarrow [a(k), rel(k), b(k)].$$

Kennzeichnungen von Kolumnen antworten:

- $a(k)$  – Nummer der Verbindungsabmessung,
- $rel(k)$  – Relation zwischen Abmessungen (bezeichnet als: 1=, 2->, 3-≥, 4-<, 5-≤, 6-> (Gleichartigkeit)),
- $b(k)$  – Nummer der Verbindung mit  $a(k)$  Abmessung.

#### 4 METHODEN HIERARCHISCHE UND ITERATIVE KLASSIFIKATION

Auf Grund der Theorie der Cluster Analyse werden Methoden zur hierarchischen und iterativen Klassifikation ausgewählt, die dann zur Klassifikation der Konstruktionselemente angepasst werden. Methoden der **hierarchischen Klassifikation** ermöglichen eine Vorstellung der Vielfältigkeit von Objekten, die durch quantitative Merkmale beschrieben sind (in diesem Vortrag sind die Konstruktionssammlungen von Elementen  $ks_m^{te_j}$  ( $m=1, m_z$ ) durch Abmessungswerte beschrieben), in graphischer Form von Diagramm. Es werden folgende Stadien der hierarchischen Klassifikation von Konstruktionen ausgezeichnet:

1. die unifizierte Parametermatrix  $x_{ia}^u$  und Abmessungsmatrix  $y_{il}^{e_j}$  eingeben,
2. Berechnung der Differenziertheit unter Konstruktionen mit Anwendung euklidische Metrik [1, 2, 3],
3. Auswahl der Konstruktionen, die sich mit der kleinste Differenziertheit charakterisieren (der größte Ähnlichkeit) und Berechnung der Differenziertheit zwischen Konstruktionen und neu gebildeten Klassen oder Klassen zwischen sich,
4. Punkt 4 wird so lange durchgeführt bis eine Klasse mit allen Konstruktionen erreicht ist,
5. Vorbereitung von Dateien, die für iterative Klassifikation und Aufzeichnung von Dendrogramm benötigt werden,
6. Aufzeichnung von Dendrogramm mit Anwendung des Programm *dendro.LSP*.

Auf Grund der Algorithmisierung des Klassifikationsprozesses wird ein Programm GEN 323 bearbeitet. Ein Beispiel der Aufzeichnung vom Diagramm ist Bild 5 darstellt.

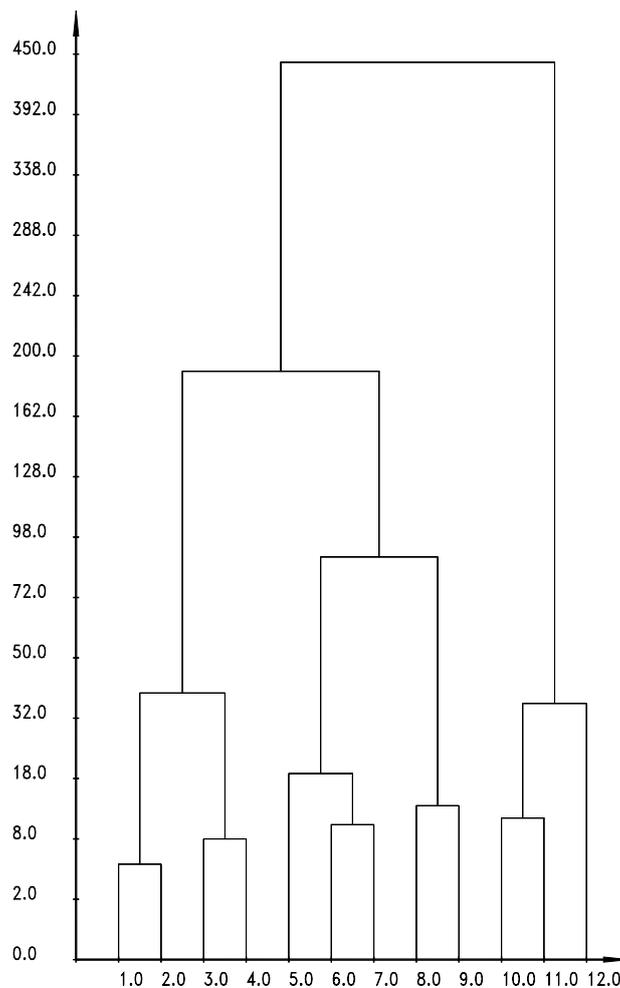


Bild 5: Dendrogramm hierarchische Klassifikation

Methoden der **iterative Klassifikation** berühren die iterative Verbesserung der Anfangspartition  $U_N^0$  (mit bestimmter Anzahl N Klas), so dass man die summarische Homogenität von Klassen minimalisiert,

$$H(U_N^0) > H(U_N^1) > H(U_N^2) > \dots H(U_N^*) = H(U_N^*) \quad (1)$$

Diese Klassifikation ermöglicht die Konstruktionen von Element in Partition  $U_N = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_N\}$  so auffasst, dass ähnliche Konstruktionen zu der selbe Klasse  $A_i$ , gehören, dagegen sind Klassen  $A_i, A_j$  charakterisiert mit dem größten Trennungsmaß. Eine wichtige Bedeutung in dieser Art der Klassifikation spielt die Anfangspartition  $U_N^0$ . Von 5 verschiedenen Anfangspartitionen die geprüft wurden, wurde das beste Ergebnis der Klassifikation von Konstruktionselementen bekommen, wenn die Anfangspartition  $U_N^0$  wird von Ergebnisse der hierarchische Klassifikation übernommen. So wird die erste Stufe der Klassifikation von Konstruktionselementen erreicht (für eine bestimmte Anzahl von Klassen  $N=2-(m-1)$  wo, m - Anzahl der klassifizierten Konstruktionen ist) und die als **Einfache Klassifikation** benannt ist. Im Prozess der Bildung einer geordneten Konstruktionsfamilie für Konstruktionselemente sollte man die optimale Partition  $U_{NO}^* = \{A_1^*, \dots, A_i^*, \dots, A_{NO}^*\}$  bilden. Das heißt Partition mit optimaler Anzahl von Klassen NO. Um dieses Problem zu Lössen, wird die **komplexe Klassifikation** angewendet. Grundlage der Optimierung sind zwei Kriterien, [1, 2]:

- K1 die Partition sollte sich durch möglichst homogene Klassen charakterisieren,
- K2 die Partition sollte sich durch die höchste Trennung unter den Klassen charakterisieren.

Das Problem der Optimierung ist dieser, dass man als Kriterien zwei monotonische Funktionen (ohne Extremem) bei wachsender Anzahl von Klassen N bekommt. Es sollten man solche Zielfunktion gebaut werden, welche am bestem die Struktur der Vielfältigkeit von Konstruktionen umfasst. Die Grundlage der Bewertung sind definierte Zielfunktionen FC1 – FC7, die in der Veröffentlichung [2] vorgestellt sind. Das beste Ergebnis bei der Konstruktionsklassifikation bekommt man bei der Zielfunktion FC5 – Maximalen Winkelbiegung. Für so gebildete Partition von Konstruktionselementen  $U_{NO}^* = \{A_1^*, \dots, A_i^*, \dots, A_{NO}^*\}$  werden Klassenrepräsentanten nach Kriterium der maximalen Werten von Parametern ausgewählt, die bestimmten Klassen entsprechen. Diese Art der Agregation von Konstruktionselementen die nach Kopplungsgraph durchgeführt ist, war algorithmisiert und in Form eines Programms GEN 261 gefasst.

## 5 Zuordnung $\delta$

Durchgeführte Versuche und praktische Ergebnisse in solchen Konstruktionsfamilien wie: Kupplungen, Hydraulikzielindern, Greifferrn, beweisen dem Anwendung von der Zuordnung  $\delta$  mit Methode für Verbindungsrelationen. In der Tabelle 1 werden nach Parameter Typengrößennummer von Elementen, nach Agregation mit Verbindungsrelationen vorgestellt. Das Ergebnis sind 75 Typengrößen von Konstruktionselementen, deshalb werden mit Wiederholung werden 15 Typengrößen von Winkelgreifers gebildet. Die so geordnete Konstruktionsfamilie von Winkelgreifers  $RK_{KL}^u$ , ermöglicht die Herstellkosten zu verringern. Wenn nur die Zuordnung  $\chi$  (ohne Zuordnung  $\delta$ ) durchführt wird, dann bekommt man 161 Konstruktionselementen, von denen nur die herstellenden Elemente ohne Auswahlelemente umfasst. Der Grad der Reduktion von Anzahlelementen wird nach der Gleichung

$$R^{el} = \frac{i_z \cdot j_z}{\sum_{j=1, jz} m z_j} \quad (2)$$

berechnet. Für die Konstruktionsfamilie des Winkelgreifers sind dies  $R^{el} = 2.15$ .

Tabelle 1: Zuordnung  $\delta$  für Konstruktionsfamilie Winkelgreifer

i	D	H	Masse	Typengrößen von Konstruktionselementen						Typengrößen von Greifen KL	
	mm	mm	kg	MKP	MKO	MTL	MLP	MCL	MDZ		MKN
1	25	40	0.2	1	1	1	1	1	1	1	1
2	28	40	0.2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	32	63	0.4	2	2	2	2	2	2	2	2
4	35	63	0.5	2	3	2	3	2	2	2	3
5	40	63	0.6	3	4	3	4	3	3	2	4
6	45	63	0.8	3	4	4	4	3	3	3	5
7	50	100	1.5	3	4	4	4	3	3	3	
8	56	100	1.9	4	5	5	5	4	4	3	6
9	63	100	2.4	4	5	5	5	4	4	3	
10	71	100	3.1	4	5	5	5	4	4	4	7
11	80	100	3.9	5	6	6	6	5	5	5	8
12	90	120	6	5	6	7	7	5	5	6	9
13	100	120	7.4	5	6	7	7	5	5	6	
14	112	120	9.3	6	7	8	8	6	6	7	10
15	125	180	17.4	7	8	9	9	7	7	8	11
16	132	180	19.4	8	9	10	10	8	8	9	12
17	140	180	21.8	8	9	10	10	8	8	9	
18	150	180	25	8	10	10	11	9	9	10	13
19	160	180	28.4	8	10	10	11	9	9	10	
20	170	200	35.7	8	10	10	11	9	9	11	14
21	180	200	40	8	10	10	11	9	9	11	
22	190	200	44.5	9	11	11	12	10	10	12	15
23	200	200	54.3	9	11	11	12	10	10	12	

Als Ergebnis der Zuordnung  $\delta$  sind optimal differenzierte Abmessungswerte von Konstruktionselementen, die dann bei der Aufzeichnung mit Parametrisierung angewandt werden [4].

## 6 Literatur

- [1] Bock H. H.: Automatische Klassifikation. Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen 1974
- [2] Gendarz P.: Methodologie der Bildung geordneter Sammlungen von Maschinenkonstruktionen . Dissertation B TH Gliwice 2002
- [3] Gendarz P.: Hauptzonen im Prozess der Bildung von geordneten Konstruktionsfamilien. Materiały 2 Kolokwium „Konstruktionstechnik“, TU Dresden 23 –24.09.2004, s. 177-186
- [4] Gendarz P.: Parametrisierung als Werkzeug zur CAD/CAM Integration. Manuskript 6 Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren", Egloffstein 1995, s. 12.1 - 12.5

Prof. Dr.-Ing. habil. Piotr Gendarz  
Lehrstuhl für Automatisierung und Integrierte Fertigungssysteme  
Schlesische Technische Universität  
PL 44-100 Gliwice; ul. Konarskiego 18a  
Email: piotr.gendarz@polsl.pl