

Kopplungsrelationen im Prozess der Bildung geordneter Konstruktionsfamilien

P. Gendarz

Eingegangen: 15. Februar 2010 / Online publiziert: 14. August 2010
 © The Author(s) 2010. Dieser Artikel ist auf Springerlink.com mit Open Access verfügbar

Zusammenfassung Das Hauptproblem im Prozess der Bildung geordneter Maschinenkonstruktionsfamilien ist die Erfüllung der Kopplungsrelationen zwischen den mitwirkenden Elementen. Werden diese nicht erfüllt, kommt es zu Konstruktionsfehlern. Damit es zu solch einem ungünstigen Zustand nicht kommt, sollten Methoden der Erfüllung von Kopplungsrelationen für zahlreiche Typenreihen von Elementen der Konstruktionsfamilie erarbeitet werden.

Coupling relations in the process of creation of the ordered families of machine constructions

Abstract The main problem of creating of the ordered families of machine constructions (series of types, module systems of constructions) is to satisfy the coupling relations between cooperating elements. If these relations are not satisfied constructional errors happens. To avoid this it is needed to elaborate the methods that satisfy coupling relations between numerous elements of an ordered family in the range of constructional forms and dimensions values.

Formelzeichen

$PO_n\{po_i; (i = 1, iz)\}$ Sammlung von Bedürfnissen (–)
 $KS_n\{ks_k; (k = 1, kz)\}$ Sammlung von Konstruktionen (–)
 SO_n Allgemeine System (–)
 CK_s Konstruktionsmerkmale (–)
 CCH_c Charakteristische Merkmale (–)

Gebildet auf Grund des DAAD Stipendiums in TU Chemnitz (20.07.08–20.09.08) und des Forschungsprojektes N502087638.

P. Gendarz (✉)
 Institut für Automatisierung und Integrierte Fertigungssysteme,
 Schlesische Technische Universität, ul. Konarskiego 18a, 44-100
 Gliwice, Polen
 e-mail: piotr.gendarz@polsl.pl

su_n	Detailliertes System (–)
Ω_w	Fertigungskriterien (–)
M_I	Eingangsmoment (Nm)
M_0	Ausgangsmoment (Nm)
M_P	Überlastungsmoment (Nm)
rk_s^z	Konstruktionslösung (–)
RK_n	Konstruktionsfamilie (–)
Πp	Konstruktionsgestalt (–)
RKS_n	Konstruktionslösungen der Konstruktionsfamilie (–)
Re^z	Relation (–)
L_{izo}	Linie der Konstruktionsfamilienstruktur (–)
SW_n	Variantenstruktur der Konstruktionsfamilie (–)
wks_w^z	Konstruktionsvarianten (–)
tk_s^z	Typische Konstruktionslösung (–)
$TKS^z_r (r = 1, rz)$	Typische Konstruktionslösungen der Konstruktionsfamilie (–)
l_{tks}	Zahl typischer Konstruktionslösungen (–)
$G(tk_s^z_r)$	Graph typischer Konstruktionslösungen (–)
$G(\Pi_{rw}^{te_j})$	Graph der Kopplungsrelationen (–)
$ARE_{j\pm 1} - e_j$	Außenrelationen (–)
$IRE_j - e_j$	Innenrelationen (–)
$W_l^{e_j} (l = 1, lv_j)$	l -tes Maß des e -ten Elementes (–)
$a(k)$	Nummer der Verbindungsabmessung (–)
$rel(k)$	Relation zwischen Abmessungen (–)
$b(k)$	Nummer der Verbindung mit $a(k)$ Abmessung (–)

1 Einführung

In der Marktwirtschaft bedeutet das Konstruieren von Maschinen nicht nur die Erstellung einer Konstruktion des Produktes, sondern einer Konstruktionsmenge, die ein breites Spektrum von Bedürfnissen für eine bestimmte Klasse von Produkten umfasst. So vorbereitete Fertigungsbetriebe können mit größerer Wahrscheinlichkeit mit dem Erwerb eines Auftrages für die Fertigung eines Produkts rechnen und ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern [1–3, 7–9]. Die vorbereiteten Konstruktionsmengen in Form von z. B. Typenreihen oder Konstruktionsmodulsystemen wurden geordnete Familienkonstruktionen genannt. Die Konstruktionsfamilie ist kein Homonym, sondern ein Begriff aus der Mengenlehre (Menge der Mengen), sie erfasst eine Konstruktionsmenge vom identischen Allgemeinsystem, wo jede Konstruktion durch eine Menge von Konstruktionsmerkmalen (u.a. geometrische, werkstoffliche) beschrieben wird [3].

Infolge des iterativen Projektierungs- und Konstruktionsprozess ($pr - ks$) werden fachgebietsbezogene Konstruktionsfamilien gebildet [3, 5]. Aus diesen Konstruktionsfamilien werden zu Ordnungszwecken diejenigen ausgewählt, die die größtmögliche Angleichung der charakteristischen- und Konstruktionsmerkmale sicherstellen. Die Wahl der Familienkonstruktion, die geordnet werden soll, kann:

1. den Schöpfern des Modulsystems willkürlich aufge-drängt werden, um den erwarteten negativen Folgen übermäßiger Konstruktionsvielfalt zu begegnen,
2. bei aktuell registrierter Veränderbarkeit der Konstruktion in Konstruktionsfamilien (insbesondere, diese die das Fachgebiet des Büros abdecken) oder bei einer neuen Konstruktionslösung wird eine Vorordnung angewendet,
3. erzwungen werden durch die Änderung des technischen Niveaus in der Konstruktionsfamilie, wodurch eine neue geordnete Konstruktionsfamilie gebildet wird.

Das Ergebnis der Auswahl ist eine Konstruktionsfamilie RK_n , die geordnet werden soll. Diese wird als eine Zuordnung zur Bedarfsmenge $Po_n\{po_i; (i = 1, iz)\}$ und eine Ansammlung von mehrelementigen technischen Konstruktionen $Ks_n\{ks_k; (k = 1, kz)\}$ definiert, welche einem identischen allgemeinen System SO_n entspricht

$$Po_n\{po_i; (i = 1, iz)\} \Rightarrow Ks_n\{ks_k; (k = 1, kz)\} \stackrel{SO_n}{\equiv} RK_n \quad (1)$$

2 Konstruktionsvielfalt der Konstruktionsfamilie

Die Vielfalt der Konstruktionsmerkmale CK_s im Bereich der Konstruktionsfamilie erfolgt aus:

- den in den Projektierungsphase erfassten charakteristischen Merkmalen CCH_c (des erkannten Bedarfs, der durch den zukünftigen Verbraucher gestellten Forderungen),
- den detaillierten Systemen su_n – die Folgen der schöpferischen Arbeit in Projektprozess sind,
- den Fertigungskriterien Ω_w – die sich aus den Fertigungsmöglichkeiten ergeben [1, 3, 5],

$$CK_s = f(CCH_c, su_n, \Omega_w) \quad (2)$$

Das Beispiel für die Vielfalt im Bereich der Konstruktionsfamilie kann die Konstruktionsmenge der Ruschkuppelung sein, die dem auf Bild 1a dargestellten Allgemeinsystem entspricht. Wenn der Wert des Ausgangsmoments M_0 kleiner als der Wert des Überlastungsmoments M_P ist, dann ist $M_I = M_0$. Die dargestellte Beschreibung ist eine verbale Form der Systemaufzeichnung.

Das technische System (Gebilde, Abstrakt) ist eine Anordnung von Kopplungs- und Umwandlungsrelationen und beschreibt die Tätigkeit des zukünftigen technischen Mittels [1, 3]. Die Konstruktion ist ein Gefüge von Strukturen und anderen Zuständen eines Erzeugnisses und ist durch die Konstruktionsmerkmale bezeichnet. Geometrische Merkmale in Hinsicht auf äußere Strukturen, stoffliche Merkmale in Hinsicht auf innere Strukturen und Montage-merkmale beschreiben die Zustände. In dieser Arbeit wird das System der Kopplungsrelationen, also die Verbindungen zwischen den mitwirkenden Baugruppen und den Elementen, in Betracht gezogen. Infolge des Projektierungsprozesses wird das Allgemeinsystem auf verschiedene Weise detailliert, die grundlegende Relation der Transformation des Drehmoments wird jedoch erhalten. In Abb. 1b sind beispielhafte Aufzeichnungen der detaillierten Systeme dargestellt. In der ersten Lösung wird der Schnappverschluss-effekt genutzt, im zweiten dagegen die Reibungskraft. Den gewählten Systemen entsprechen verschiedene Konstruktionslösungen (Abb. 1c), die der Hauptfaktor der Vielfalt dieser Konstruktionsfamilie sind. Eine weitere Systemdetaillierung wird in Mitwirkung der Aufzeichnung des Umrisses der geometrischen Konstruktionsgestalt durchgeführt, was die Aufzeichnung der Konstruktionslösung bildet. Die Konstruktionslösung rks_n^z der Konstruktionsfamilie RK_n ist die Lösung der Aufgabe $pr - ks$, der das detaillierte System su_n und die Konstruktionsgestalt Π^P entspricht,

$$rks_n^z = su_n^s \cup \Pi^P \in RKs_n \quad (3)$$

Die Konstruktionslösung umfasst sowohl die definierten Forderungen, was die Arbeit des technischen Mittels betrifft, als auch das Konzept über die Realisierung dieser Aufgabe, indem der Umriss der Konstruktionsgestalt bestimmt wird. Auf Grund der hierarchischen Struktur des Systems und der Konstruktionsgestalt können Bestandteile der Konstruktionslösungen unterschieden werden,

$$rks_w^{zr} = Re^{zr} \cup \Pi_w^{zr} \in RKs_n \quad (4)$$

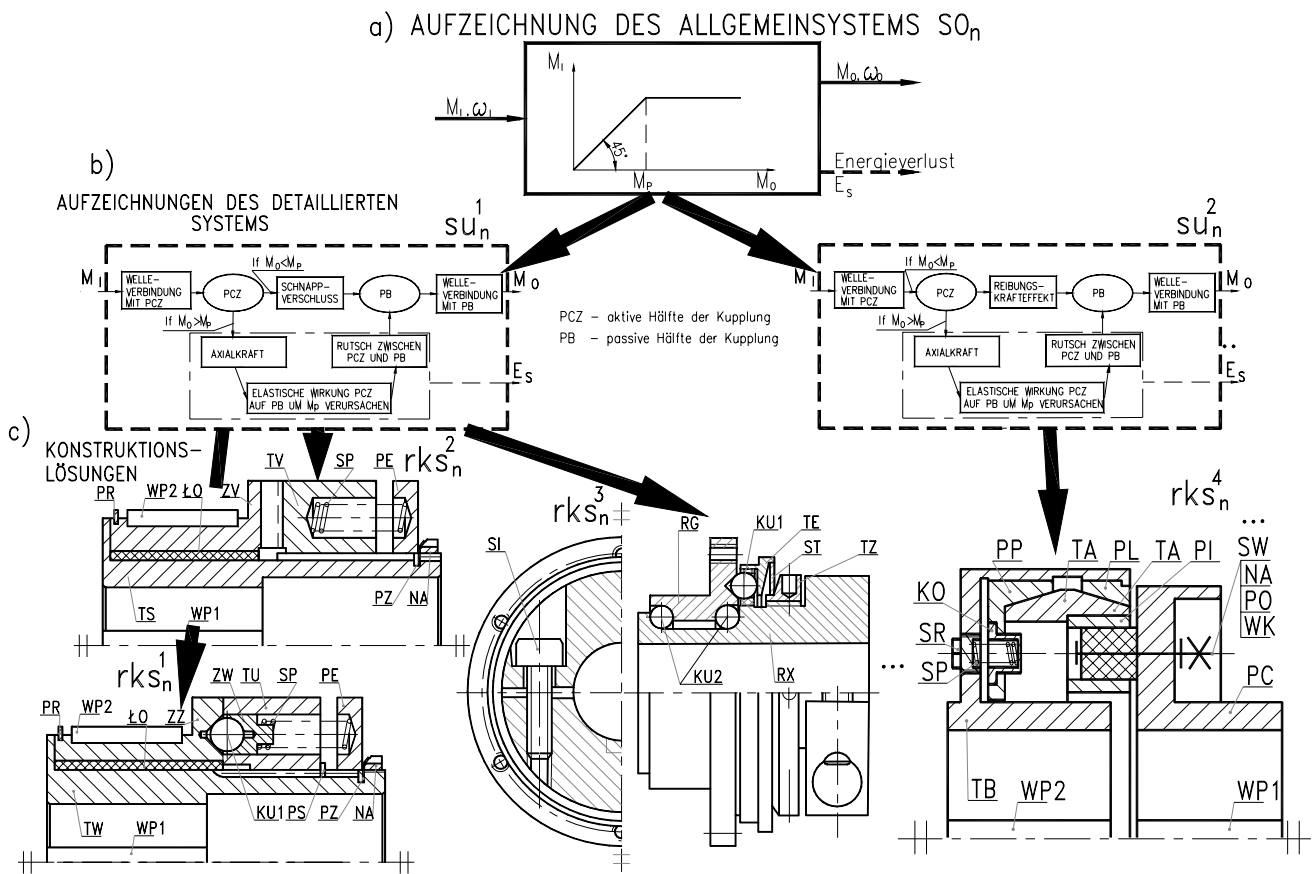


Abb. 1 Fragment der Vielfalt von Konstruktionslösungen im Bereich der Konstruktionsfamilie – Rutschkupplungen

Es werden zwei grundlegende Strukturen unterschieden, die die Konstruktionsveränderlichkeit der Konstruktionsfamilien RK_n bestimmen: die System- und die Variantenstruktur.

2.1 System- und Variantenstruktur

Die Systemstruktur der Konstruktionsfamilie ist die Summe der Systemstrukturen von Konstruktionslösungen die zur Konstruktionsfamilie gehören. Abb. 2 enthält das Beispiel der Relationsanordnung von Kopplungen und Transformationen der Rutschkupplung.

Die Allgemeinrelation kann in Relationen niedrigeren Grades aufgeteilt werden, wie:

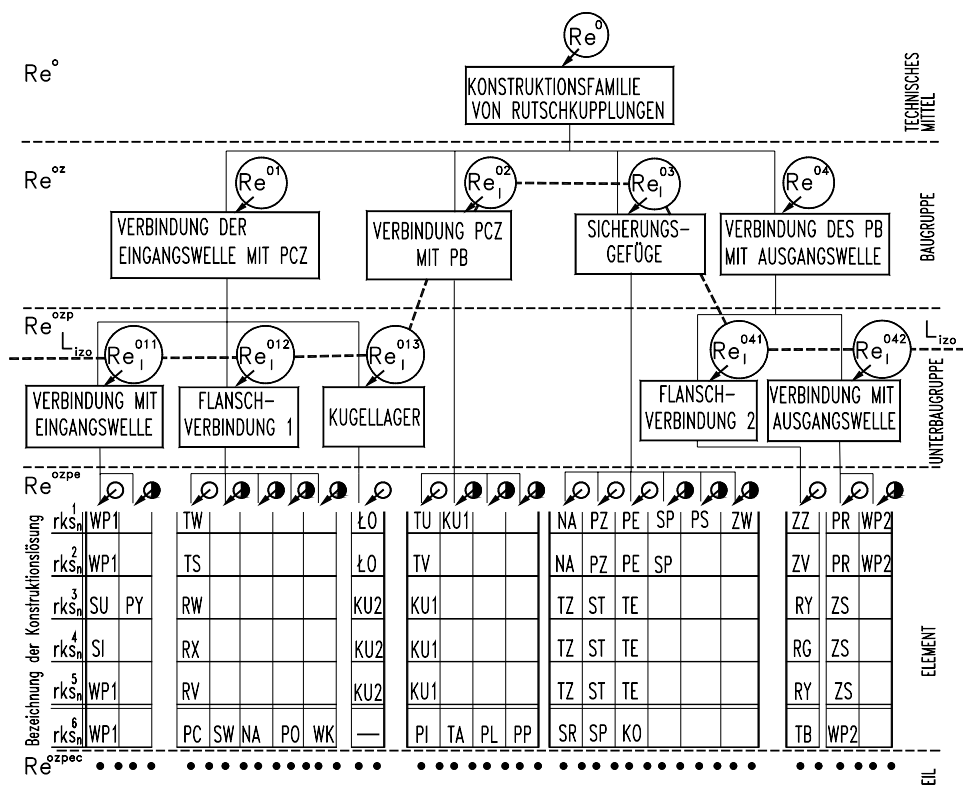
- Re^{01} – Verbindung der Eingangswelle mit der aktiven Kupplungshälfte,
- Re^{02} – Verbindung der aktiven Hälfte mit der passiven Hälfte der Kupplung,
- Re^{03} – Sicherungsgefüge,
- Re^{04} – Verbindung der passiven Hälfte der Kupplung mit der Ausgangswelle.

Jede der genannten Relationen kann in Bestandteilrelationen aufgeteilt werden. Zum Beispiel die Kopplungsrelation Re^{01} kann in folgende Relationen untergliedert werden:

- Re^{011} – der Verbindung des Eingangselementes mit der Nabe der Hälfte der aktiven Kupplung,
- Re^{012} – der Transformation des Drehmomentes vom Eingangsdurchmesser auf das Mitwirkungsdurchmesser der aktiven Hälfte mit der passiven Hälfte der Kupplung,
- Re^{013} – der Belastungsübertragung und der Realisierung der Relativbewegung zwischen der aktiven und der passiven Hälfte der Kupplung, wenn $M_0 \geq M_P$.

Die Relationen können noch weiter detailliert werden, aber bei der Hervorhebung der nächsten Relationsbestandteile sind die einzelnen Konstruktionslösungen getrennt zu prüfen. Die Notwendigkeit der individuellen Systemanalyse der Konstruktionslösung zeugt vom unterbrochenen Systemisomorphismus zwischen den Konstruktionslösungen in der Konstruktionsfamilie. Relationen vom niedrigeren Niveau der hierarchischen Struktur, die die Voraussetzung des Systemisomorphismus erfüllen, also die Vergleichbarkeit der Konstruktionslösungen für das ganze Spektrum von Konstruktionslösungen der Konstruktionsfamilie sind – werden *isomorphe Relationen* genannt. Wenn die iso-

Abb. 2 Fragment der Systemstruktur der Konstruktionsfamilie-Rutschkupplung (die Bezeichnung der Elemente sind in Abb. 1c angegeben)



morphischen Relationen mit einer Linie verbunden werden, dann wird die isomorphische Linie der Konstruktionsfamilienstruktur L_{izo} , (Abb. 2) bestimmt, die quer die ganze Systemstruktur der Konstruktionsfamilie durchschneidet. Die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Relationen in der Hierarchie der Systemstruktur unterscheidet fünf Relationsniveaus $Re^o, Re^{oz}, Re^{ozp}, Re^{ozpe}, Re^{ozpec}$ (allgemeine Bezeichnung Re^z). Ihnen entsprechen bestimmte Konstruktionsgestalten: die technischen Mittel, die Baugruppen, die Elemente und die Teile im Bereich der geprüften Konstruktionsfamilie.

Die Variantenstruktur der Konstruktionsfamilie SW_n erfolgt aus der Vielfalt der Konstruktionslösungen rks_n^z , die identische Relationen Re^z sind. Solche Mengen an Konstruktionslösungen werden Konstruktionsvarianten wks_n^z genannt,

$$WKS_n \{wks_n^z; (w = 1, wz_z)\} \overset{Re^z = \text{const}}{\subset} RKs_n \quad (5)$$

Aufgrund der Vielfaltanalyse der Konstruktionslösungen ist die Bestimmung der Variantabilität der Konstruktionslösungen für isomorphische Relationen Re_I^{zr} besonders wichtig, die mit wks_n^{zr} ; ($r = 1, rz$) ($w = 1, wz_r$) bestimmt wird. Für das Beispiel der Konstruktionsfamilie der Rutschkupplung (Abb. 2), wurden für die isomorphische Relationen Re_I^{zr} ($r = 1, rz$) folgende Konstruktionsvarianten bestimmt (Abb. 3).

Den isomorphischen Relationen entsprechen die Konstruktionsvarianten sowie die Verbindungen zwischen ihnen, die die Veränderlichkeit der Konstruktionsgestalt im Bereich der Konstruktionsfamilie RK_n bestimmen. Die Aufzeichnung der Veränderlichkeit in Form eines Graphes ist in Abb. 4 dargestellt.

Den Spitzen entsprechen die Konstruktionsvarianten, die Verbindungskanten zwischen den Spitzen entsprechen der Konstruktionsfamilie der Rutschkupplung (Abb. 1, 2, 3). Auf Grund der Optimierung der Verschiedenheit von Konstruktionslösungen [3] wird eine geordnete Konstruktionsfamilie RK_n^u gebildet, in der den Konstruktionsvarianten wks_n^{zr} typische Konstruktionslösungen $tk_s_n^{zr}$ entsprechen.

3 Kopplungsrelationen zwischen den typischen Konstruktionslösungen

Die Mengen typischer Konstruktionslösungen der Konstruktionsfamilie TKs_n^{zr} ($r = 1, rz$) sollten das KT Kriterium erfüllen – KT entspricht der maximalen Zahl der Kopplungen zwischen den typischen Konstruktionslösungen.

Die Verifikation ist eine wesentliche Frage der Typisierung, da es möglich ist, eine Kombination typischer Konstruktionslösungen zu bilden.

Es werden drei Arten der Durchführung von Kopplungen zwischen den Konstruktionslösungen unterschieden, die

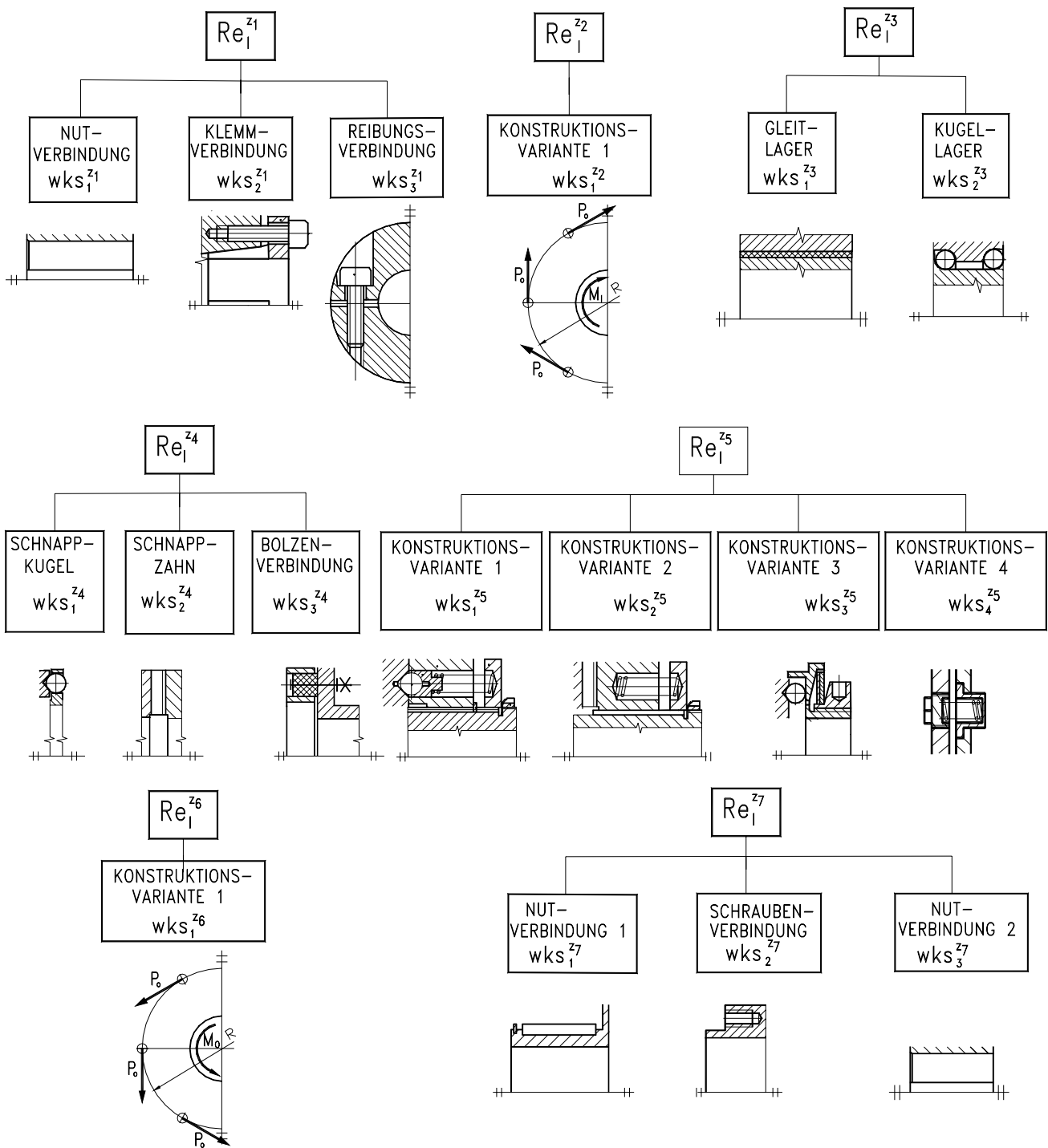


Abb. 3 Fragment der Variantenstruktur der Konstruktionsfamilie – Rutschkupplung

mit Hilfe der gekoppelten Fläche, der gekoppelten Elemente und der Adapter erreicht werden.

Beispiele für die Durchführung gewählter Kopplungsgruppen sind in Abb. 5 dargestellt. In der Gruppe der Durchführung von Kopplungen durch Kontaktflächen (Abb. 5a) werden Flächen bestimmt, die eine gegenseitige Ergän-

zung mitwirkender Elemente sind, z. B. Zylinder mit Öffnung, T-förmiger Querschnitt mit T-förmiger Rille. Am häufigsten tritt die Durchführung der Kopplung zwischen den Konstruktionslösungen durch eine gekoppeltes Element (Abb. 5b) auf, das die Merkmale der mitwirkenden Konstruktionslösungen ($tk_{w_1}^{z_r}, tk_{w_2}^{z_r+1}$) übernimmt. Das gekop-

Abb. 4 Die Variantenstruktur der Rutschkupplung

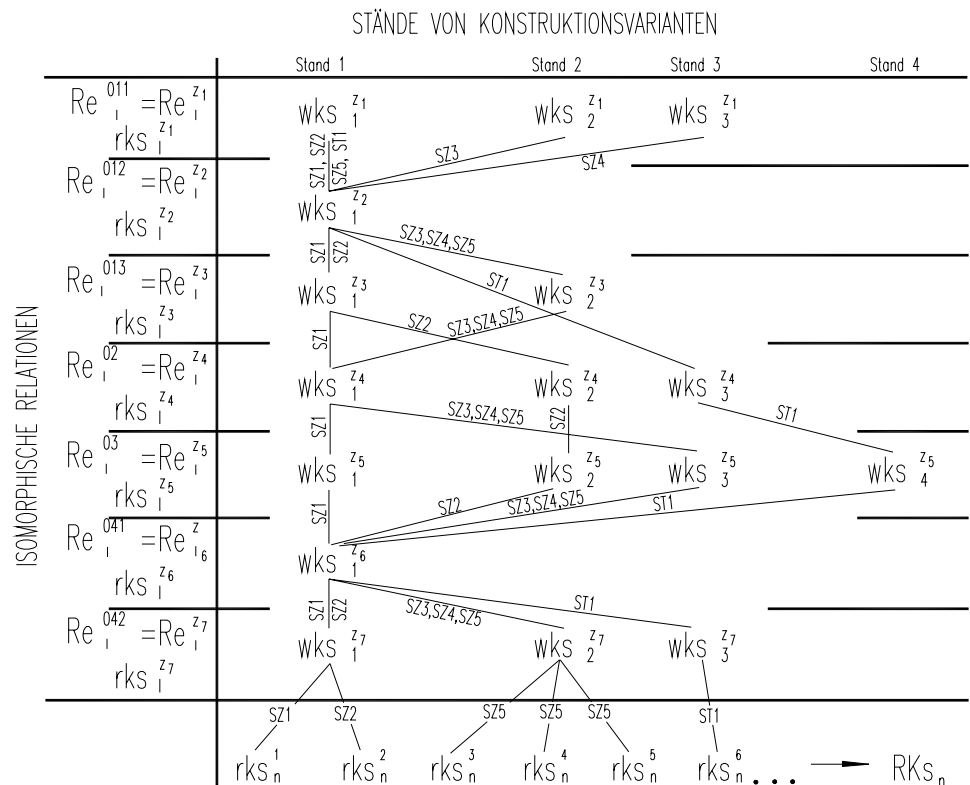
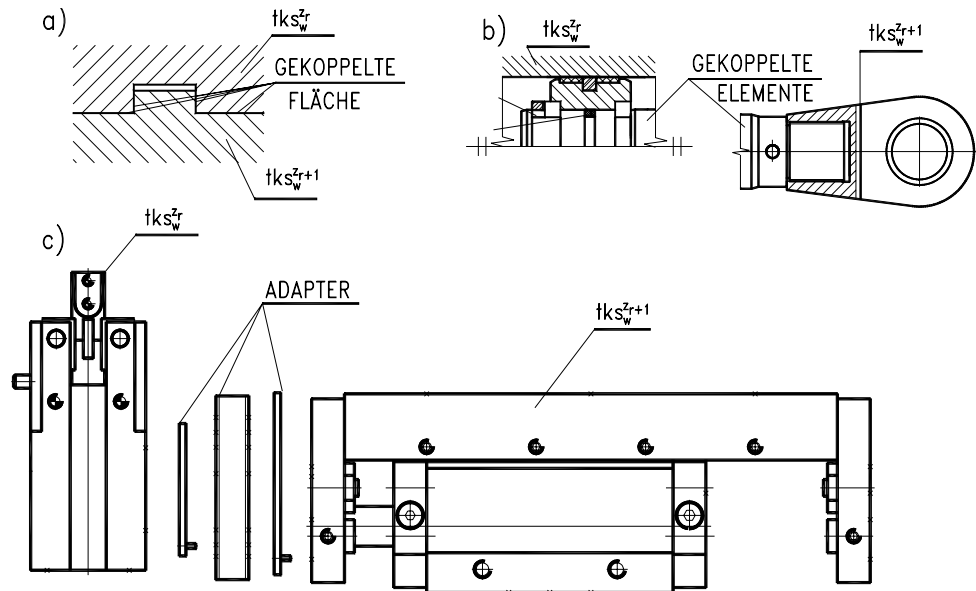


Abb. 5 Arten der Durchführung von Kopplungen zwischen den Konstruktionslösungen



pelte Element wird für die Übernahme der größten Vielfalt von Konstruktionsmerkmalen auf Kosten der Unabhängigkeit sonstiger Elemente verknüpfter Konstruktionslösungen bestimmt. Die dritte Art und Weise der Durchführung der Kopplung zwischen typischen Konstruktionslösungen ist die Anwendung von Konstruktionsonderlösungen, die „Adapter“ genannte werden (Abb. 5c). Die Wahl der bestimmten typischen Konstruktionslösungen ist mit der Wahl des ent-

sprechenden „Adapters“ verbunden, der in der Systemstruktur der Konstruktionsfamilie auf dem Niveau der Baugruppe oder des Elementes auftritt und die Durchführung der Kopplung ermöglicht.

In Abb. 6 sind Graphen der Konstruktionsvarianten dargestellt, die die Zweckmäßigkeit der Erhöhung der Zahl von Kopplungen begründen, wobei die konstante Zahl typischer Konstruktionslösungen $l_{tks} = 12$ vorausgesetzt wird. Abb. 6f

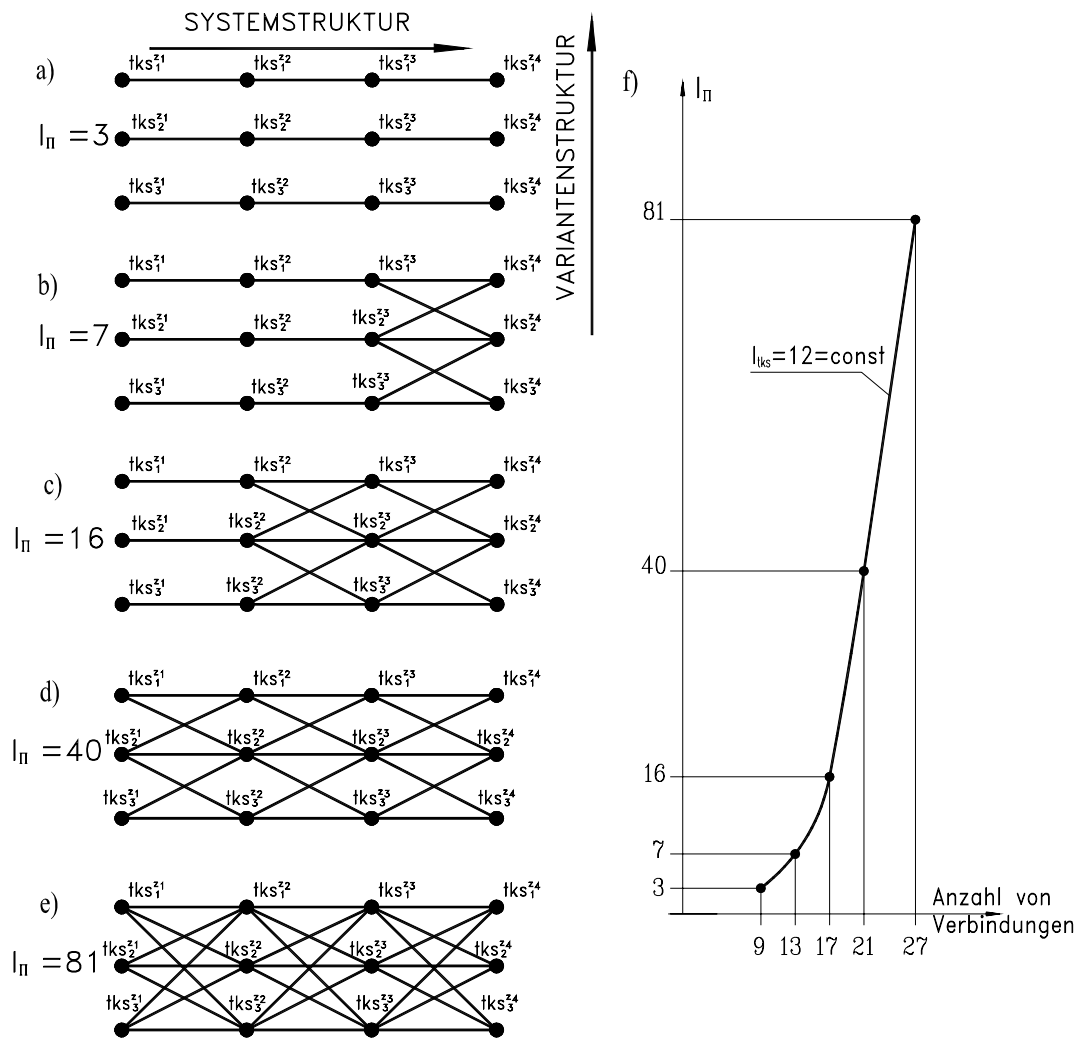


Abb. 6 Zahl der Kopplungen und Zahl typischer Konstruktionsgestalten für $l_{tk_s} = 12 = \text{const}$

enthält den exponentiellen Anstieg der Zahl typischer Konstruktionsgestalten samt dem Anstieg der Zahl von Kopplungen.

4 Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen

In dem Graph typischer Konstruktionslösungen $G\langle tks_w^{z_r} \rangle$ werden Untergraphen gekoppelter Konstruktionsgestalten der Elemente eingeführt, die den Verbindungslinien der Kopplungsrelationen entsprechen, dagegen entsprechen die Knoten den Konstruktionsgestalten der Elemente. Die Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen sind das „Bindeglied“, das die Bestandteile der Konstruktionsfamilie verbindet. Im Abschn. 3 wurde die Art und Weise der gestalteten Vervielfachung der Zahl von Kopplungen dargestellt. In diesem Abschnitt wird die Vervielfachung der Zahl von Kopplungsrelationen zwischen den quantitativen Konstruktionsmerkmalen, den Abmessungen, aufgezeigt. Die metho-

dologische Grundlage hierfür ist der Graph der Kopplungsrelationen. Hierbei wird nur ein Fragment des Graphen der Kopplungsrelationen $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ der Konstruktionsfamilie hydraulischer Zylinder in Betracht gezogen, der in Abb. 7b dargestellt ist. Die typischen Konstruktionslösungen $tks_6^{z_5}$ und $tks_1^{z_1}$ sind im Abb. 7a gegenübergestellt. Die Abmessungen mitwirkender typischer Konstruktionsgestalten der MTG- und MLB- Elemente sind in Abb. 7c dargestellt. Die korrekte Mitwirkung zwischen den Elementen bestimmen die Operatoren gekoppelter Abmessungen in Form der im Rahmen von Abb. 7d aufgezeichneten Abhängigkeiten. Im ausgewählten Fragment des Graphen der Kopplungsrelationen, entsprechen die markierten Knoten den bereits konstruierten Elementen und die restlichen Knoten den gewählten Elementkonstruktionen.

Ein Beispiel des Kopplungsgraphen $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ für eine Konstruktionsfamilie eines Winkelgreifers ist in Abb. 8 dargestellt.

Abb. 7 Modell der Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen mitwirkender Elemente

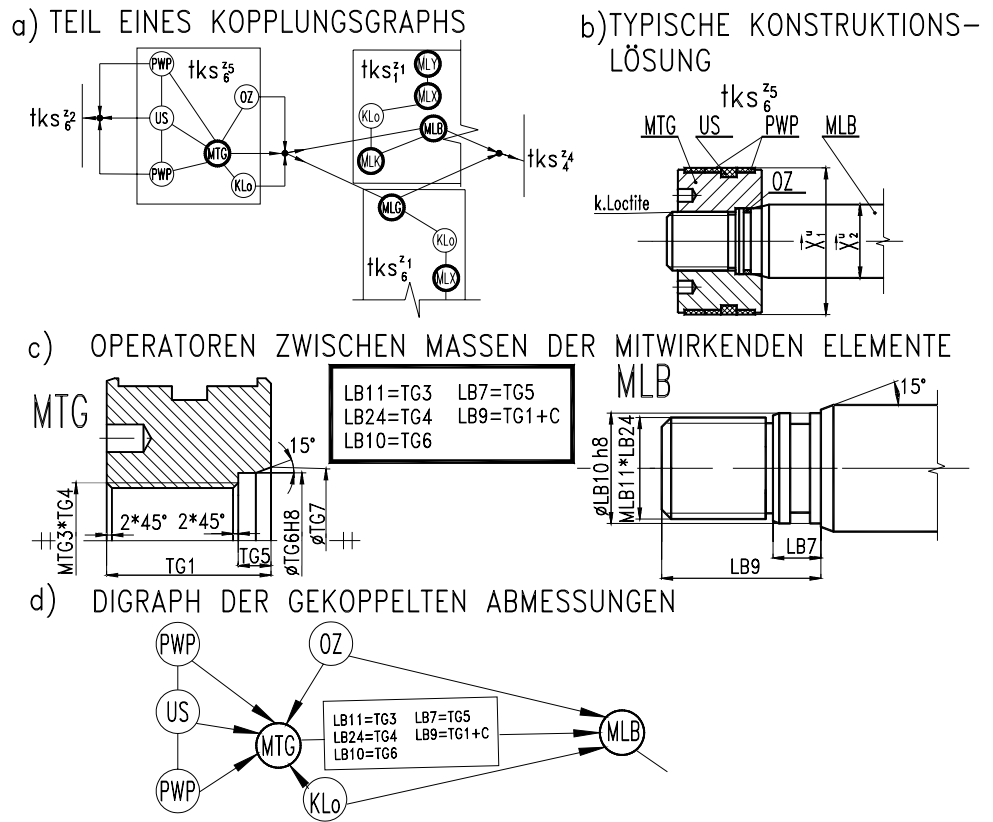
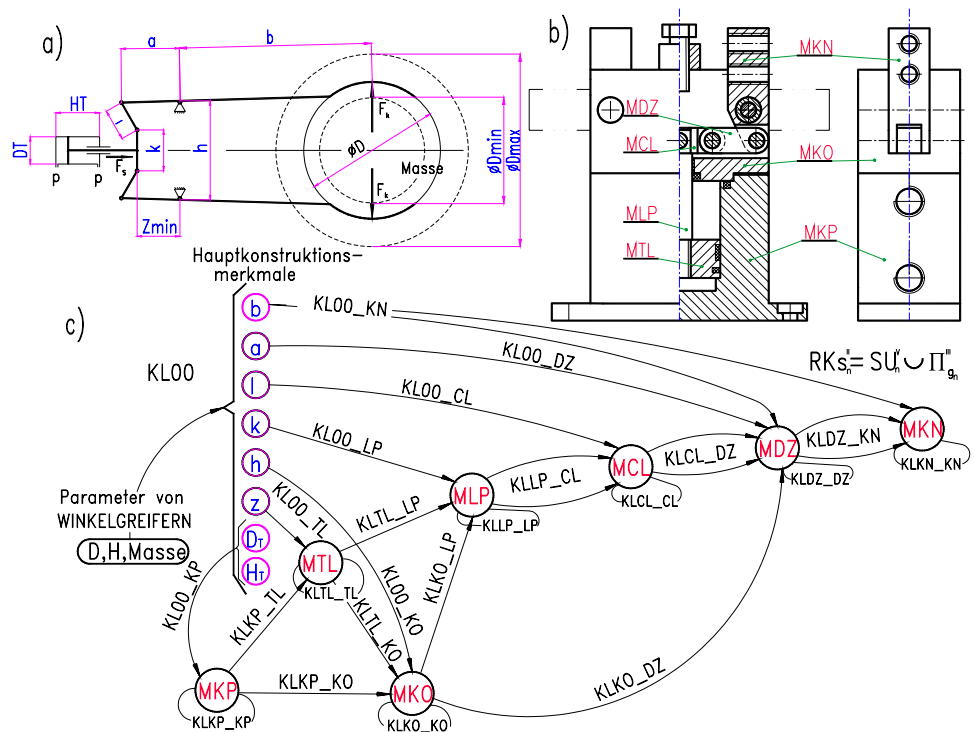


Abb. 8 Kopplungsgraph zwischen Konstruktionselementen des Winkelgreifers, (a) Phänomenologische Model, (b) Konstruktionslösung, (c) Kopplungsgraph



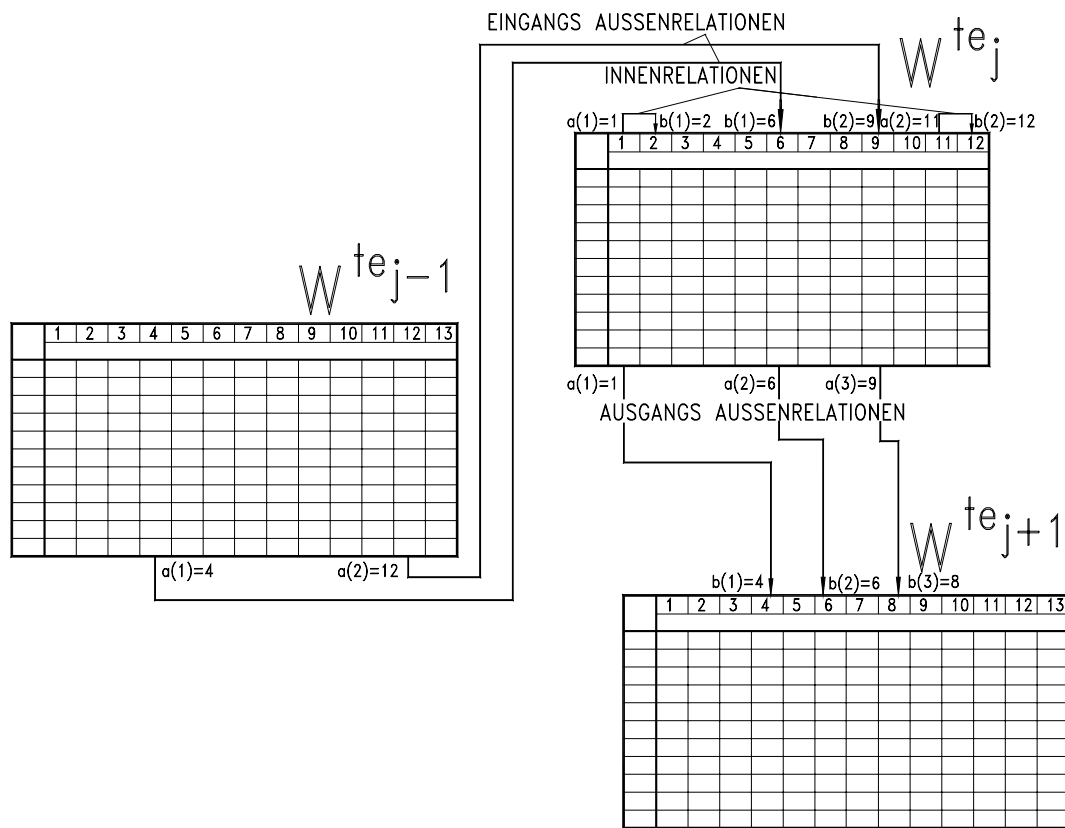


Abb. 9 Modell von Verbindungsrelationen zwischen Maßen

Die Knoten des Graphens entsprechen den Konstruktionselementen und die Kanten den Verbindungsrelationen zwischen Maßen von Elementen. Unter Verbindungsrelationen zwischen Maßen werden Außenrelationen und Innenrelationen ausgezeichnet (Abb. 9). Abmessungen von Konstruktionselementen sind in Tabellenform vorgestellt.

Außenrelationen $ARE_{j\pm 1} - e_j$, sind Verbindungsrelationen zwischen Maßen verschiedener mitwirkender Elemente. Es werden Eingangs-Außenrelationen $W_l^{e_{j-1}} (l = 1, lv_{j-1}) \uparrow W_l^{e_j} (l = 1, lv_j)$ und Ausgangs-Außenrelationen $W_l^{e_j} (l = 1, lv_j) \downarrow W_l^{e_{j+1}} (l = 1, lv_{j+1})$ zwischen Maßen mitwirkender Elemente nachgezeichnet.

Dagegen werden Innenrelationen $IRE_j - e_j$ zwischen Massen derselben Konstruktionselemente gebildet. Die Außen- und Innenrelationen sind in Form von einer dreidimensionalen Matrize erfasst.

Für Außenrelationen,

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

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

Dagegen für Innenrelationen des Konstruktionselementes ks^{e_j} ,

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

Die Kennzeichnungen der Spalten bedeuten:

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

5 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen und die praktischen Ergebnisse der Ordnung von Konstruktionsfamilien, der Kupplungen, der hydraulischen Zylinder und der Greifer verifizierten die Methoden der Erfüllung der Kopplungsrelationen zwischen den Konstruktionen der Baugruppen und der Elemente.

Die Erfüllung des KT-Kriteriums der maximalen Zahl von Kopplungen zwischen typischen Konstruktionslösungen erlaubt elastische Modulsysteme in der Konstruktion zu bilden, indem der Bereich der Bedürfnisse erweitert und eine bessere Anpassung an die Anforderungen zukünftiger Verbraucher technischer Produkte gesichert wird. Außerdem sichert sie die Serienproduktion und ermöglicht es, die Herstellungsmittel zu spezialisieren.

Die nächste Stufe der Erfüllung der Kopplungsrelationen in der Konstruktionsfamilie ist die Erfüllung der Re-

lation zwischen den Kopplungsabmessungen mitwirkender Elemente. Es ist die Grundlage des Algorithmieren der Wahl der Konstruktionsmerkmalwerte. Die Nichterfüllung dieser Relationen führt zu Konstruktionsfehlern. Wenn in der C-Technologie [3, 4, 6] die parametrische Konstruktionsaufzeichnung und die Kopplungsrelationen zwischen den Elementen genutzt wird, dann können in den fortgeschrittenen graphischen Programmen, durch Austausch parametrisierter Modelle, die 3D Elemente der Gesamtzeichnung gebildet werden.

Open Access Dieser Artikel unterliegt den Bedingungen der Creative Commons Attribution Noncommercial License. Dadurch sind die nichtkommerzielle Nutzung, Verteilung und Reproduktion erlaubt, sofern der/die Originalautor/en und die Quelle angegeben sind.

Literatur

1. Dietrych J, Rugenstein J (1982) Einführung in die Konstruktionswissenschaft. Manuskript Nr. 1054. Gliwice
2. Franke JH, Hasselbach J, Huch J, Firchau N (2002) Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Hanser, München/Wien
3. Gendarz P (2009) Hauptzuordnungen bei Modulbildungsprozessen von Konstruktionen. *Forsch Ingenieurwes* 73(4):245–255
4. Gendarz P (2009) Hauptzuordnungen bei Modulbildungsprozessen von Konstruktionen. *Forsch Ingenieurwes* 73:245–255
5. Gendarz P (2005) Seriengerechtes Konstruieren. In: Beiträge zum 16. Symposium „Design for X“. Neukirchen, 13.–14.10.2005, S 151–158
6. Gendarz P (1998) Berechnung von Abmessungen für die Entwicklung von Baureihen. *Konstruktion* 50(10):23–28
7. Gerhard E (1984) Baureihenentwicklung. Kontakt & Studium, Bd 105. Expert Verlag, Grafenaut
8. Schuh G (1998) Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten. *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik*. VDI-Verlag, Düsseldorf
9. Pahl G, Beitz W (1997) *Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen*. Springer, Berlin