

KOPPLUNGSRELATIONEN IM PROZESS DER BILDUNG GEORDNETER MASCHINENKONSTRUKTIONSFAMILIEN

Piotr Gendarz

Zusammenfassung

Das Hauptproblem im Prozess der Bildung geordneter Maschinenkonstruktionsfamilien ist die Erfüllung der Kopplungsrelationen zwischen den mitwirkenden Elementen, und werden sie 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 Elemente der Konstruktionsfamilie erarbeitet werden.

1 Einführung

In der Marktwirtschaft bedeutet das Konstruieren von Maschinen nicht nur die Erstellung einer Konstruktion des technischen Mittels, sondern einer Konstruktionsmenge, die ein breites Spektrum von Bedürfnissen für eine bestimmte Klasse technischer Mittel umfasst. So vorbereitete Fertigungsbetriebe können mit größerer Wahrscheinlichkeit mit dem Erwerb eines Auftrages für die Fertigung eines technischen Mittels rechnen, und dadurch auch ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern [2,6]. 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 (geometrischen, werkstofflichen und der Montage) beschrieben wird. [1].

Infolge des iterativen Projektierungs- und Konstruktionsprozess (pr – ks) werden Konstruktionsfamilien je nach Fachgebiet des Büros bildet. Unter diesen werden die gewählt, die die größte Fähigkeit zur Ordnung charakteristischer- und Konstruktionsmerkmale haben [2,3]. Die Wahl der Familienkonstruktion, um die Ordnung durchzuführen, kann folgend verlaufen:

1. den Schöpfern des Modulsystems willkürlich aufgedrängt wegen bemerkbarer negativer Folgen übermäßiger Konstruktionsvielfalt,
2. angenommen auf Grund der z.Z. registrierten Konstruktionsveränderlichkeit in Konstruktionsfamilien (vor allem dieser, die das Fachgebiet des Büros sind) oder für eine neu erstellte Konstruktionslösung, indem die Vorlaufordnung angewendet wird,
3. erzwungen durch die Änderung des technischen Niveaus in der Konstruktionsfamilie, wodurch eine neue geordnete Konstruktionsfamilie gebildet wird.

Zwecks Ordnung wurde die Konstruktionsfamilie RK_n gewählt, die definiert ist als die der Bedarfsmenge $PO_n\{po_i; (i=1, iz)\}$ zugeordnete Menge von aus mehreren Elementen bestehende Konstruktionen technischer Mittel $KS_n\{ks_k; (k=1, kz)\}$, der das identische Allgemeinsystem 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),
- detaillierten Systemen su_n – die Folgen der schöpferischen Arbeit in Projektprozess sind,
- Fertigungskriterien Ω_w – die sich aus den Fertigmöglichkeiten ergeben [1],

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

Das Beispiel für die Vielfalt im Bereich der Konstruktionsfamilie kann die Konstruktionsmenge der Ruschkupplung sein, der das auf Bild 1a dargestellte Allgemeinsystem entspricht. Wenn der Wert des Ausgangsmoments M_O kleiner als der Wert des Überlastungsmoments M_P sein wird, dann ist $M_I = M_O$. Die dargestellte Beschreibung ist eine verbale Form der Systemaufzeichnung. **Das System ist eine Anordnung von Kopplungs- und Umwandlungsrelationen, es beschreibt die Arbeit des zukünftigen technischen Mittels [1].** In dieser Arbeit wird das System der Kopplungsrelationen, also die Verbindungen zwischen den mitwirkenden Baugruppen und den Elementen in Betracht gezogen. Infolge der Projektierungsprozess war das Allgemeinsystem auf verschiedene Weise detailliert, die grundlegende Relation der Transformation des Drehmoments wurde jedoch erhalten. Auf Bild 1b wurden beispielhafte Aufzeichnungen der detaillierten Systeme dargestellt. In der ersten Lösung wird das Schnappverschlusseffekt genutzt, und im zweiten dagegen die Reibungskraft. Den gewählten Systemen entsprechen verschiedene Konstruktionslösungen (Bild 1c), die der Hauptfaktor der Vielfalt dieser Konstruktionsfamilie sind. 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,

$$rks_n^z = su_n^{s_i} \cup \Pi^p \in RK_s_n \quad (3)$$

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,

$$rks_w^{z_r} = Re^{z_r} \cup \Pi_w^{z_r} \in RK_s_n \quad (4)$$

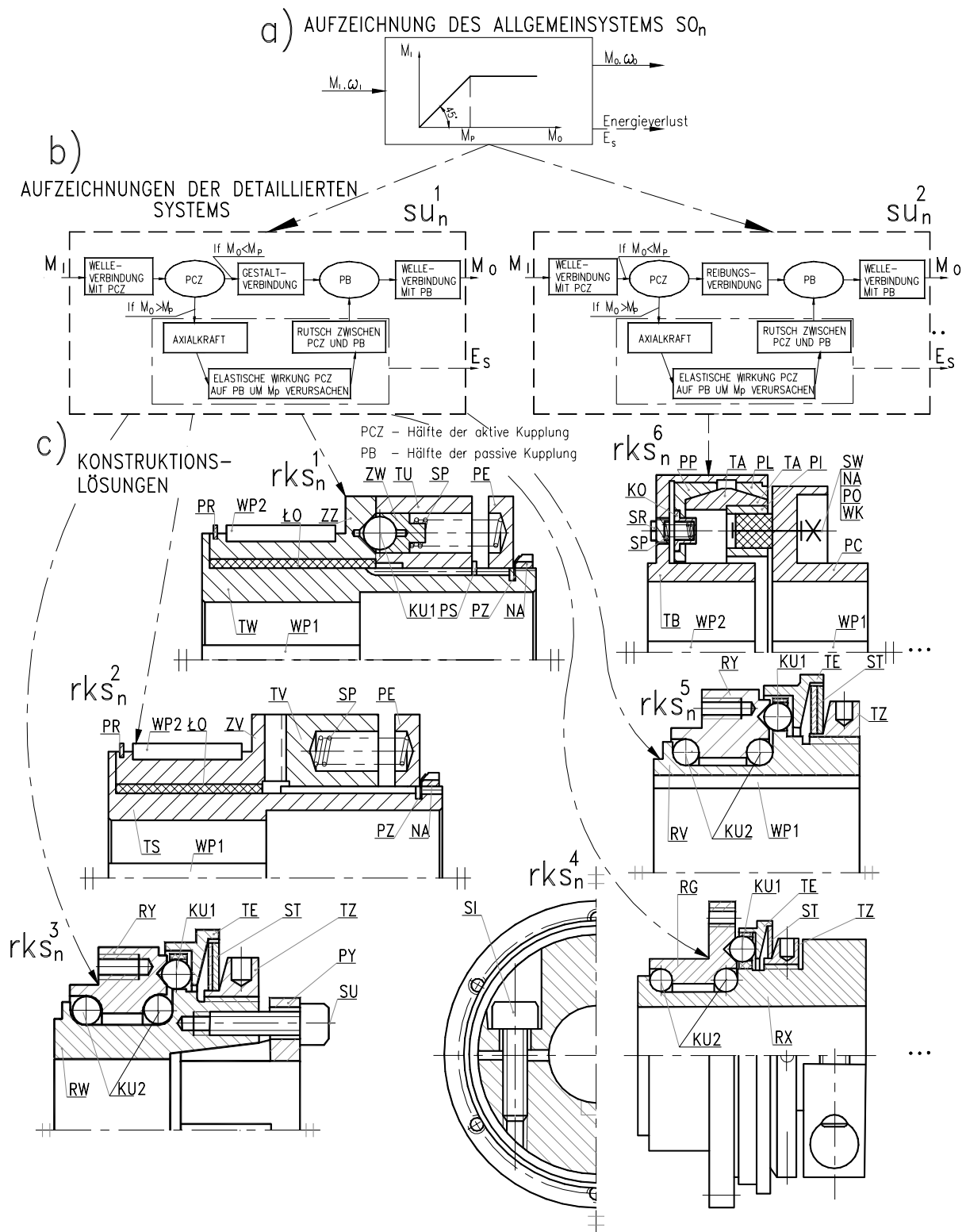


Bild 1: Fragment der Vielfalt von Konstruktionslösungen im Bereich der Konstruktionsfamilie - Rutschkupplungen

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

2.1 System- und Variantenstruktur

Die Systemstruktur der Konstruktionsfamilie ist die Summe der Systemstrukturen von Konstruktionslösungen die zur Konstruktionsfamilie gehören. Bild 2 ist das Beispiel der Relati-onanordnung von Kopplungen und Transformationen der Rutschkupplung.

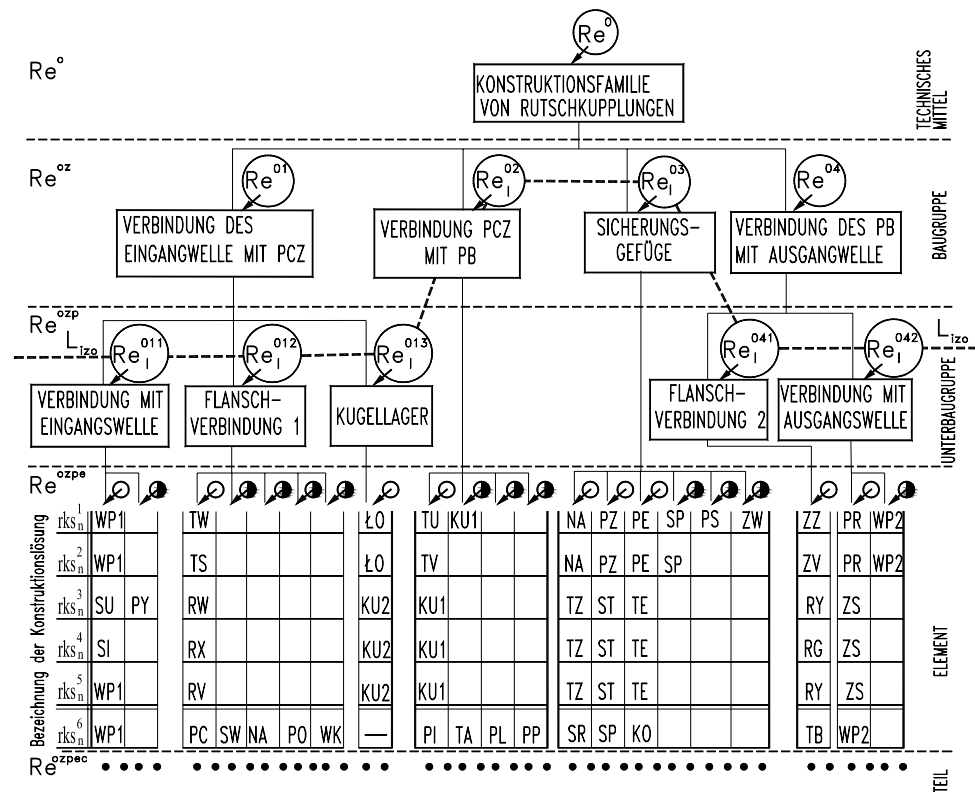


Bild 2: Fragment der Systemstruktur der Konstruktionsfamilie- Rutschkupplung (die Bezeichnung der Elemente wurde auf Bild 1c angegeben)

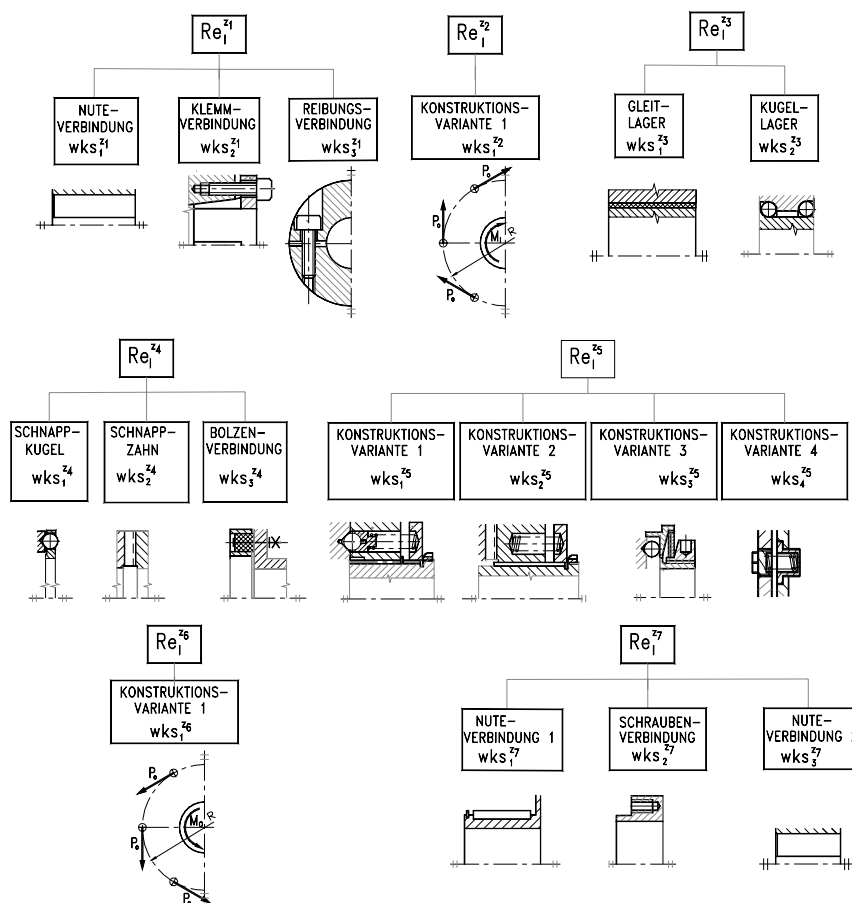
Die Allgemeinrelation kann in Relationen niedrigeren Grades aufgeteilt werden, solche wie:

- Re^{01} – Verbindung des 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 nächste Bestandteilrelationen aufgeteilt werden. Zum Beispiel die Kopplungsrelation Re^{01} kann in folgende Relationen aufgeteilt werden:

- Re^{011} – der Verbindung des Eingangsystemelementes 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 Hälfte und der passiven der Kupplung, wenn $M_O \geq M_P$.

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 zeugen vom unterbrochenen Systemisomorphismus zwischen der teilweisen 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 wurden – **isomorphische Relationen** genannt. Wenn die isomorphischen Relationen mit einer Linie verbunden werden, dann wird die isomorphische Linie der Konstruktionsfamilienstruktur L_{izo} , (Bild. 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^0 , Re^{oz} , Re^{ozp} , Re^{ozpe} , Re^{ozpec} (allgemeine Bezeichnung Re^z). Ihnen entsprechen bestimmte Konstruktionsgestalten: der technischen Mittel, der Baugruppen, der Elemente und der Teile im Bereich der geprüften Konstruktionsfamilie.



Bid 3: Fragment der Variantenstruktur der Konstruktionsfamilie - Rutschkupplung

Die Variantenstruktur der Konstruktionsfamilie SW_n erfolgt aus der Vielfalt der Konstruktionslösungen rks_w^z , deren Exponent identische Relationen Re^z , sind. Solch eine Menge der Konstruktionslösungen wurde Konstruktionsvarianten wks_w^z genannt,

$$WKS_n \{wks_w^z; (w = 1, w_z)\} \subset RKs_n^{Re^z=const} \tag{5}$$

Besonders wichtig wegen der Vielfaltanalyse der Konstruktionslösungen ist die Bestimmung der Variantabilität der Konstruktionslösungen für isomorphe Relationen $Re_i^{z_r}$, die mit $wks_w^{z_r}; (r=1, rz)(w=1, wz_r)$ bestimmt wurden. Zum Beispiel für die Konstruktionsfamilie der Rutschkupplung (Bild 2), wurden für isomorphe Relationen $Re_i^{z_r} (r=1, rz)$ folgende Konstruktionsvarianten bestimmt, Bild 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 wurde auf Bild 4 dargestellt.

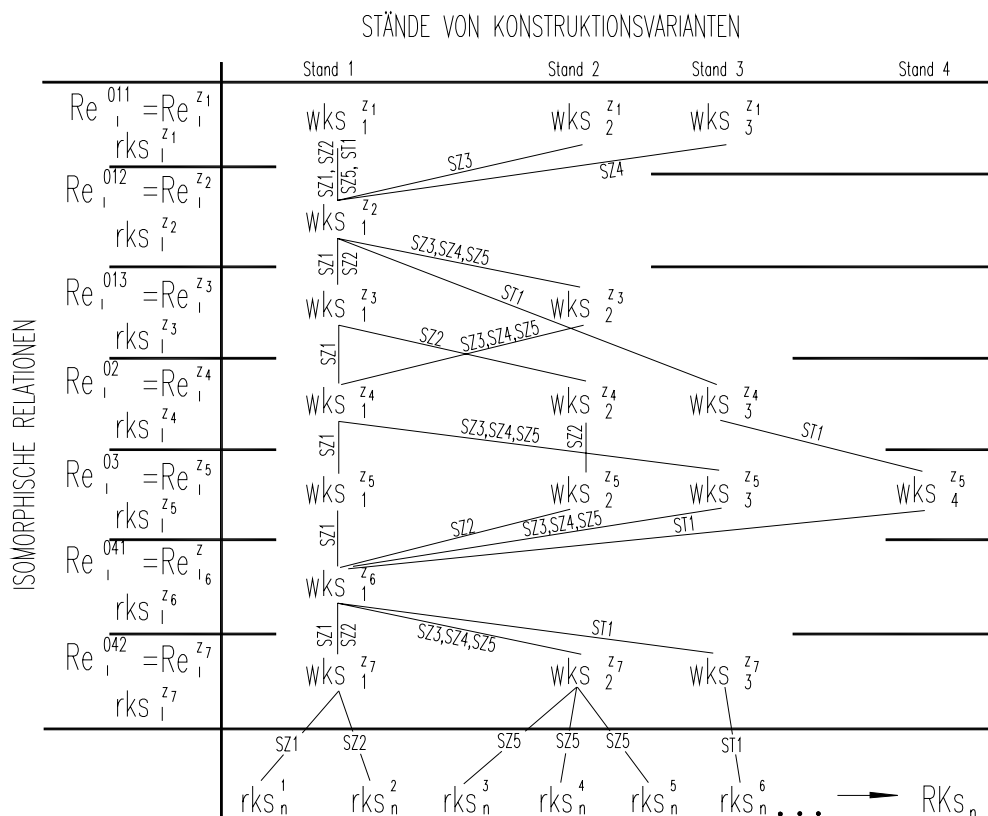


Bild 4: Die Variantenstruktur der Rutschkupplung

Den Spitzen entsprechen die Konstruktionsvarianten, dagegen den Verbindungskanten zwischen ihnen für das geprüfte Fragment entsprechen die Konstruktionsfamilie der Rutschkupplung (Bild. 1, 2 i 3). Auf Grund der Optimierung der Verschiedenheit von Konstruktionslösungen [2] wird eine geordnete Konstruktionsfamilie RK_n^u bildet, in der den Konstruktionsvarianten $wks_w^{z_r}$ typische Konstruktionslösungen $tks_w^{z_r}$ entsprechen.

3 Kopplungsrelationen zwischen den typischen Konstruktionslösungen

Die Mengen typischer Konstruktionslösungen der Konstruktionsfamilie $TKS^{z_r} (r=1, rz)$ sollten das KT Kriterium erfüllen – **KT – maximale Zahl der Kopplungen zwischen typischen Konstruktionslösungen**. Das ungünstige Ergebnis der Typisierung können zum Beispiel

die auf Bild 5a dargestellten inkohärenten Mengen typischer Konstruktionslösungen tks_w^{zr} ($r = 1, rz$) sein.

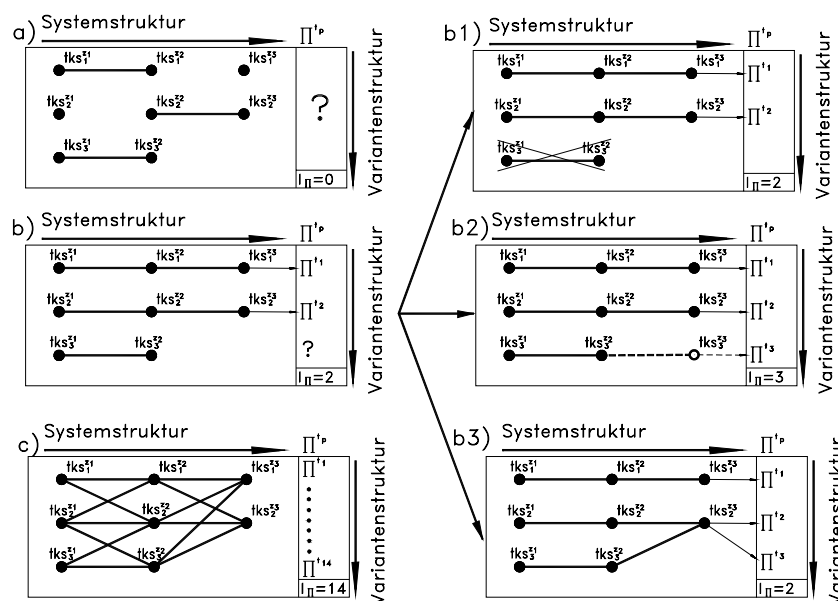


Bild 5: Kopplungsmodelle in typischen Konstruktionslösungen

Auf dem Bild 5b sieht man die fehlende Kopplung zwischen typischen Konstruktionslösungen tks_w^{zr} ($r = 1, rz$), und dadurch kann deren volle Kombination zwecks Bildung typischer Konstruktionsgestalt Π^{t_p} nicht erreicht werden. Solch ein Typisierungsergebnis Bedarf der Korrektur gewählter typischer Konstruktionslösungen oder der Modifizierung der Konstruktionslösungen. Das günstigste Typisierungsergebnis ist die in Form des Graphes der Konstruktionsvarianten $G\langle tks_w^{zr} \rangle$, auf Bild 5c, dargestellte Menge typischer Konstruktionslösungen. Durch die erhöhte Zahl der Kopplungen für $l_{tks} = 8$ typische Konstruktionslösungen können $l_n = 14$ typische Konstruktionsgestalten der Konstruktionsfamilie Π^{t_p} ($p=1,14$) erreicht werden.

Das es möglich ist die Kombination typischer Konstruktionslösungen zu bilden ist die Verifikation eine wesentliche Frage der Typisierung. Es wurden drei Arten der Durchführung von Kopplungen zwischen den Konstruktionslösungen unterschieden, die mit Hilfe: der gekuppelten Fläche, der gekuppelten Elemente, der Adapter erreicht worden waren.

Beispiele der Durchführung gewählter Kopplungsgruppen wurden auf Bild 6 dargestellt. In der Gruppe der Durchführung von Kopplungen durch Kontaktflächen (Bild 6a) werden Flächen bestimmt, die eine gegenseitige Ergänzung 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 (Bild 6b) auf, das die Merkmale der mitwirkenden Konstruktionslösungen (tks_{w1}^{zr} , tks_{w2}^{zr+1}) übernimmt. Das gekoppeltes 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 Konstruktionssonderlösungen, die „Adapter“ genannte werden, Bild 6c. Die Wahl der bestimmten typischen Konstruktionslösungen ist mit der Wahl des entsprechenden „Adapters“ verbunden, der in der Systemstruk-

tur der Konstruktionsfamilie auf dem Niveau der Baugruppe oder des Elementes auftritt und die Durchführung der Kopplung ermöglicht.

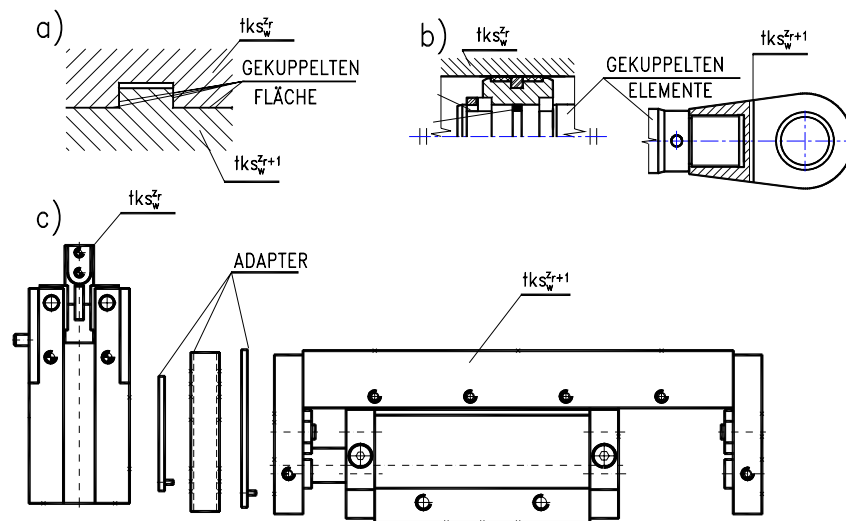


Bild 6: Arten der Durchführung von Kopplungen zwischen den Konstruktionslösungen

Auf Bild 7 wurden Graphen der Konstruktionsvarianten dargestellt, die die Zweckmäßigkeit der Erhöhung der Zahl von Kopplungen begründen, wobei die konstante Zahl typischer Konstruktionslösungen $I_{tk_s}=12$ vorausgesetzt wird. Auf Bild 7f sieht man den exponentialen Anstieg der Zahl typischer Konstruktionsgestalten samt dem Anstieg der Zahl von Kopplungen.

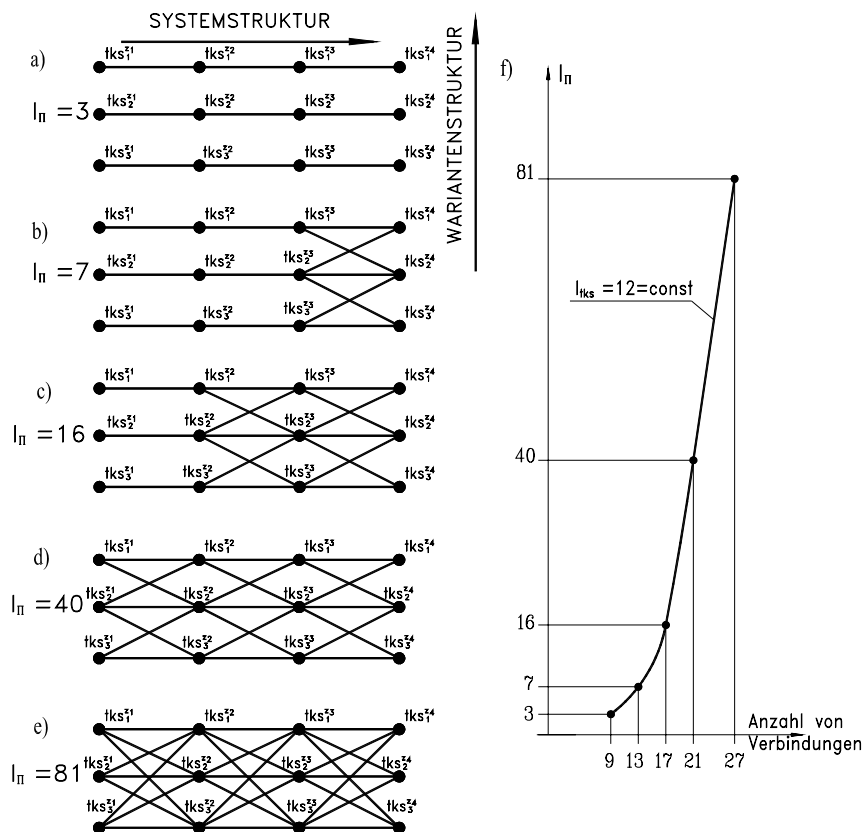


Bild 7: Zahl der Kopplungen und Zahl typischer Konstruktionsgestalten für $I_{tk_s} = 12 = \text{const}$

4 Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen

Im Graph typischer Konstruktionslösungen $G\langle tks_w^{z_r} \rangle$ werden Untergraphen gekoppelter Konstruktionsgestalten der Elemente eingeführt, wo den Armen die Kopplungsrelationen entsprechen, dagegen den Knoten entsprechen die Konstruktionsgestalten der Elemente. Die Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen sind das „Bindemittel“, das die Bestandteile der Konstruktionsfamilie verbindet. Im Kapitel 3 wurde die Art und Weise der gestalteten Vervielfachung der Zahl von Kopplungen dargestellt. In diesem Kapitel wird die Vervielfachung der Zahl von Kopplungsrelationen zwischen den quantitativen Konstruktionsmerkmalen, also den Abmessungen, gezeigt. Die methodologische Grundlage ist der Graph der Kopplungsrelationen. Es wird nur ein Fragment des Graphen der Kopplungsrelationen $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ der Konstruktionsfamilie hydraulischer Zylinder in Betracht gezogen, der auf Bild 8 dargestellt wurde. Es werden typische Konstruktionslösungen $tks_6^{z_5}$ und $tks_1^{z_1}$ geprüft, Bild 8a. Die Abmessungen mitwirkender typischer Konstruktionsgestaltender MTG- und MLB-Elemente wurden auf Bild 8c dargestellt. Die korrekte Mitwirkung zwischen den Elementen bestimmen die Operatoren gekoppelter Abmessungen in Form der im Rahmen auf Bild 8d aufgezeichneten Abhängigkeiten. Für das gewählte Fragment des Graphen der Kopplungsrelationen entsprechen den dicker gemachten Knoten die konstruierten Elemente, dagegen den mit der dünnen Linie gezeichneten Kreisen die gewählten Elementeskonstruktionen. Den Armen des Graphen entsprechen die Relationen zwischen den Abmessungen, die **Kopplungsabmessungen** genannt wurden. Unter den Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen werden Außen- und Innenkopplungen unterschieden.

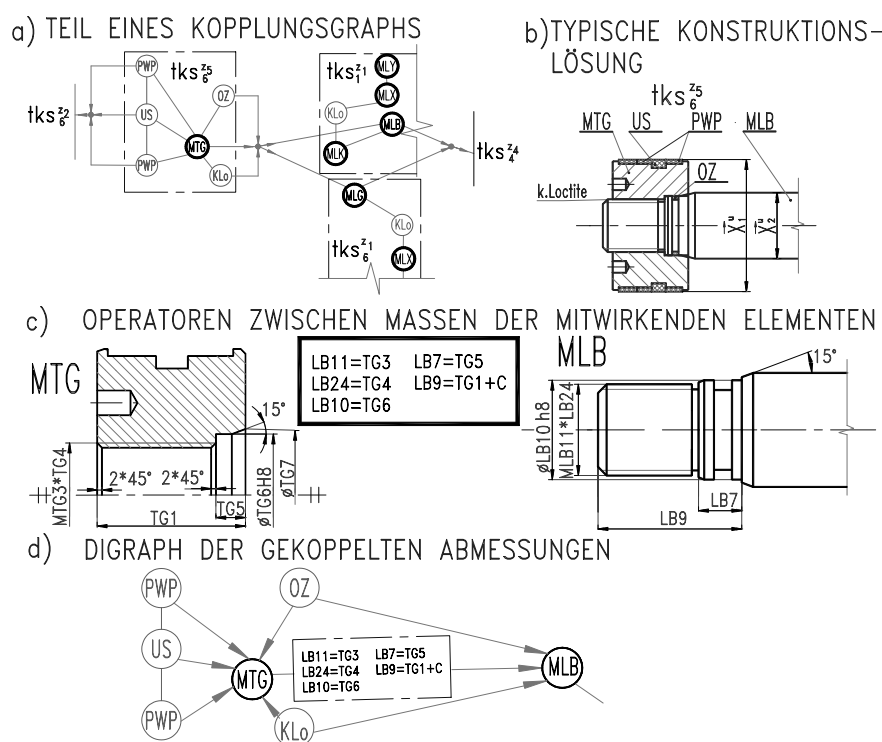


Bild 8: Modell der Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen mitwirkender Elemente

Die **Außenkopplung** ($SPe_{j-1_e_j}$) ist eine Kopplung zwischen Abmessungen verschiedener mitwirkender Elemente, (Bild 8c). Es wurden unterschieden: Eingangs-Außenkopplungen zwischen den Abmessungen der Elemente ($W_l^{e_{j-1}} (l=1,lv_{j-1}) \uparrow W_l^{e_j} (l=1,lv_j)$) und Ausgangs-

Außenkopplungen zwischen den Abmessungen der Elemente $W_l^{e_j} (l=1, l_{v_j}) \downarrow W_l^{e_{j-1}} (l=1, l_{v_{j-1}})$. Dagegen die **Innenkopplung** ($SPe_j_e_j$) ist eine Kopplung zwischen abhängigen Abmessungen der gleichen Konstruktion des Elementes e_j . Das Modell der Kopplungsrelationen zwischen den Abmessungen des Elementes e_j , deren variable Abmessungswerte tabellarisch aufgezeichnet sind, wurden in der Arbeit [4] dargestellt.

5 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Experimente und die praktischen Ergebnisse der Ordnung von Konstruktionsfamilien: der Kupplungen, der hydraulischen Zylinder, 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 den Anforderungen zukünftiger Verbraucher technischer Mittel gesichert wird. Außerdem sichert sie die Serienproduktion und ermöglicht die Herstellungsmittel zu spezialisieren.

Die nächste Stufe der Erfüllung der Kopplungsrelationen in der Konstruktionsfamilie ist die Erfüllung der Relation zwischen den Kopplungsabmessungen mitwirkender Konstruktion der Elemente. Es ist die Grundlage des Algorithmen der Wahl der Konstruktionsmerkmalwerte. Die Nichterfüllung dieser Relationen führt zu Konstruktionsfehlern. Wenn in der C-Technologie [5] die parametrische Konstruktionsaufzeichnung und die Kopplungsrelationen zwischen den Elementen genutzt wird, dann können in den fortgeschrittenen graphischen Programmen durch Austausch parametrisierter Modelle der 3D Elemente der Gesamtzeichnung gebildet werden.

6 Literatur

- [1] Dietrych J.: System und Konstruktion. WNT, Warszawa 1985.
- [2] Gendarz P.: Methodologie der Bildung geordneter Sammlungen von Maschinenkonstruktionen. Wissenschaftliche Hefte der Schlesischen Technischen Universität „Mechanik“ Nr. 141. Gliwice 2002.
- [3] Gendarz P.: Applikationen graphischer Programme in geordneten Konstruktionsfamilien. Verlag der Schlesischen Technischen Universität 1998.
- [4] P. Gendarz: Seriengerechtes Konstruieren. Beiträge zum 16. Symposium „Design for X“. Neukirchen, 13 - 14.10.2005, S. 151-158.
- [5] J. H. Franke, J. Hasselbach, J. Huch, N. Firchau: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Hanser, München, Wien. 2002
- [6] G. Schuh: Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf

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