

METHODOLOGIE DES PROJEKTIERENS UND KONSTRUIERENS

Piotr Gendarz

Zusammenfassung

Im Artikel werden die Grundlagen der Methodologie des Projektierens und des Konstruierens dargestellt, deren Vorläufer Herr Prof. Janusz Dierych ist. Diese Methodologie zeichnet sich durch absolute Unterscheidung der Ingenieur Tätigkeiten am Abstraktum und Konkretum aus. Die Grundlage für Tätigkeiten am Abstraktum sind zwei Gebilde: das System und die Konstruktion. Das System beschreibt Handlungen, und die Konstruktion die Strukturen und den Zustand des zukünftigen technischen Mittels.

1 Einführung

Professor Dr.-Ing. Janusz Dierych ist am 23. Juli 1907 in Łódź geboren. In diesem Jahr feiern wir den 100. Geburtstag des Professors, des Schöpfers der Methodologie der Schlesischen Schule des Projektierens und des Konstruierens. Nach unserem direkten Empfinden arbeitete der Professor unheimlich intensiv und individuell – als ob er nach neuen Wegen und Lösungen suchte, die wie es sich später zeigte zur Formulierung der einheitlichen Disziplin der Konstruierenswissenschaft führte, die im Buch „System und Konstruktion“ dargestellt wurde. Der bedeutende Erfolg der Methodologie ist die absolute Unterscheidung der Welt der Abstrakta von der Welt der Konkreta, Bild 1

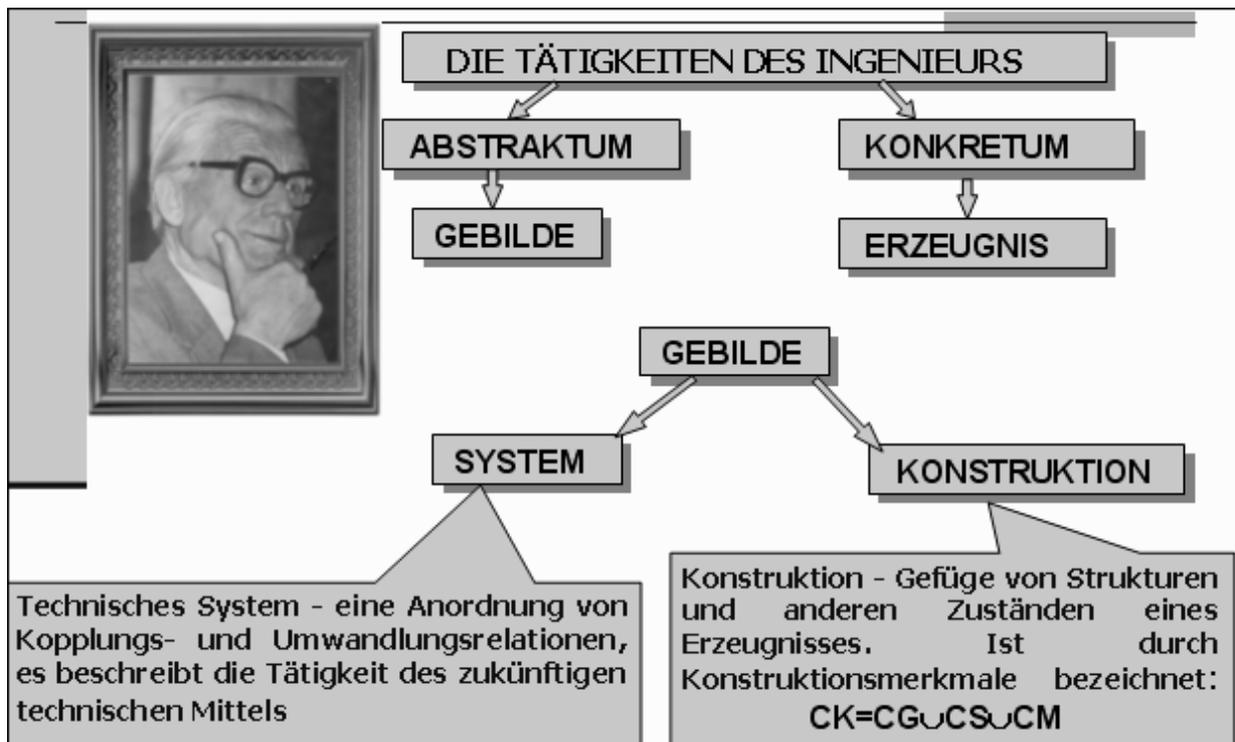


Bild 1: Die Hauptgegenstände der Tätigkeiten des Ingenieurs

Das Ergebnis der Ingenieurertätigkeiten am Abstraktum sind Gebilde. Es werden zwei Grundgebilde der Ingenieurertätigkeiten unterschieden: das System und die Konstruktion. „**Das technische System - eine Anordnung von Kopplungs- und Umwandlungsrelationen, es beschreibt die Tätigkeit des zukünftigen technischen Mittels**“. Es bezeichnet, auf welche Weise der Bedarf durch die Tätigkeit des zukünftigen technischen Mittels befriedigt werden wird. Es ist das Hauptergebnis des Projektierens. Dagegen **die Konstruktion - Gefüge von Strukturen und anderen Zuständen eines Erzeugnisses. Sie ist durch Konstruktionsmerkmale bezeichnet: geometrische C_g , stoffige C_s und der Montage C_m** “. Es können Außenstrukturen (durch geometrische Merkmale beschrieben) und Innenstrukturen (durch Merkmale des Werkstoffes beschrieben) sein. Dagegen die Montagemerkmale beschreiben die Zustände des Erzeugnisses, die meistens während der Montage gegeben werden. Die Konstruktionsmerkmale werden im Konstruktionsprozess gewählt und sind Eigenschaften der zukünftigen technischen Mittel.

Gegenstand der Ingenieurertätigkeiten sind auch Tätigkeiten an Konkrete, also an materiellen Objekten. Ergebnisse dieser Handlungen sind hauptsächlich die Ergebnisse der in Labors geführten Forschungen wie auch das endgültige Ergebnis der Ingenieurertätigkeiten in der Welt der Konkrete – das Erzeugnis. Die Fertigung, die der Effekt „*des Zusammenstoßes des Konstruktions- und technologischen Gedankens mit der Materie*“ ist, das dank des entsprechend organisiertem Produktionsprozesses das rationell gefertigte Erzeugnis gibt. Wenn das Erzeugnis installiert und in Betrieb genommen wird, ist es ein technisches Mittel, das laut System den Bedarf deckt. Die Mengen technischer Mittel bilden Artefakten, deren Ziel die Erfüllung der **Lebens- und Entwicklungsrechte** ist [1].

2 Konstruktionsmerkmale

Konstruieren ist die Bestimmung der Eigenschaften zukünftiger technischer Mittel. Diese spezifischen Merkmale, die eine Aussage über den Erkenntnisgegenstand sind, können in drei Hauptgruppen der Konstruktionsmerkmale geteilt werden,:

- geometrische Merkmale
- stoffige Merkmale
- Montage-Merkmale

Konstruktionsmerkmale, die eine Konstruktion bilden, werden hauptsächlich wegen des Fertigungsprozesses in Form: der Fertigungszeichnungen, der Gesamtzeichnungen und des Verzeichnisses von Elementen aufgezeichnet. Sie beschreiben gemäß der Definition der Konstruktion, **die Anordnung der Verteilung der Außenstrukturen** - geometrische Merkmale, **die Anordnung der Verteilung der Innenstrukturen** - stoffige Merkmale und **Zustände des Erzeugnisses** - Montage-Merkmale

2.1 Geometrische Merkmale

Die geometrischen Merkmale C_g beschreiben die Außenstruktur des zukünftigen Erzeugnisses. Sie umfassen die geometrische Konstruktionsgestalt Π_g und die geometrischen Abmessungen W_g ,

$$C_g = \Pi_g \cup W_g . \quad (1)$$

Die geometrische Gestalt Π_g (Bild 2a) ist das qualitative Konstruktionsmerkmal, das die Topologie des zukünftigen Erzeugnisses beschreibt und wird hauptsächlich in:

- Orthogonalprojektionen,
- Ansichten,
- Querschnitten,
- Umklappungen,
- Details,
- Axonometrie.

aufgezeichnet.

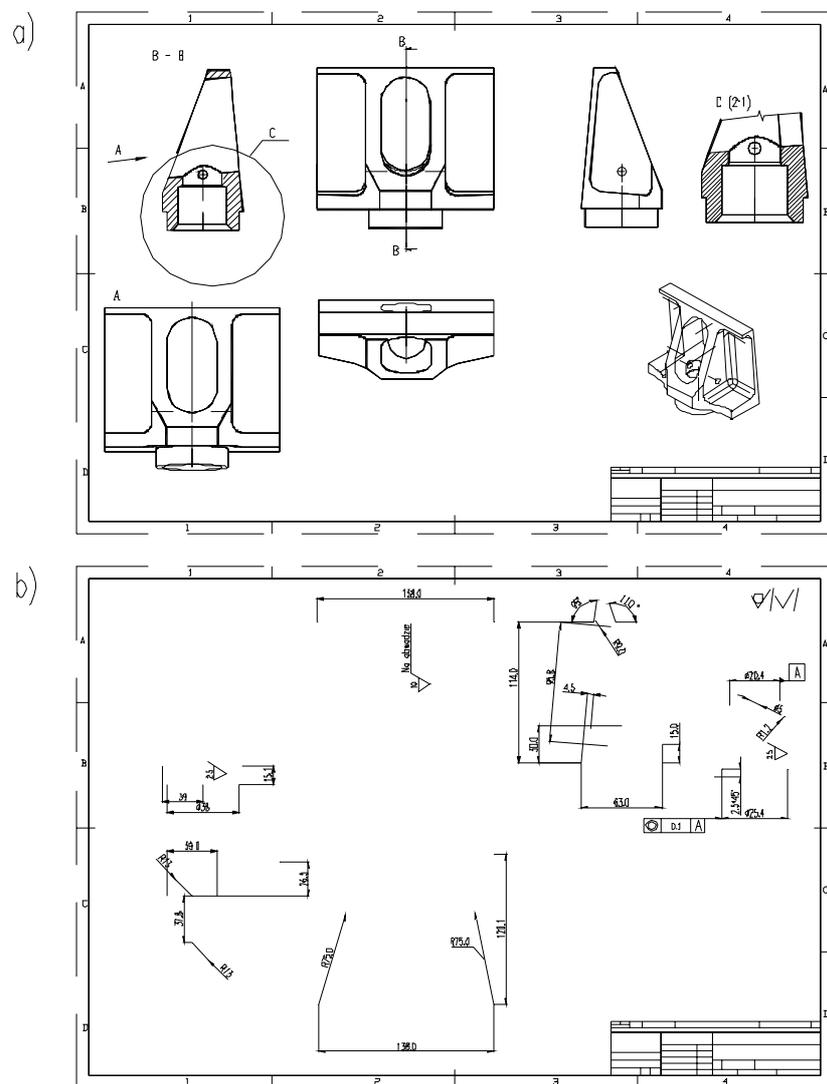


Bild 2: Geometrische Konstruktionsgestalt Π_g sowie geometrische Abmessungen W_g

Die geometrische Gestalt Π_g hängt hauptsächlich von:

- dem detaillierten System S_u ,
- den Parametern des zukünftigen Erzeugnisses Pa_i ,

- der Fertigungstechnologie Te_j .

ab.

Die geometrischen Abmessungen W_g (Bild 2b) sind quantitative Konstruktionsmerkmale, die die Anordnung der Abmessungen gemäß dem Prinzip:

- der Eindeutigkeit,
- der Vollständigkeit,
- der Kontabilität

bilden.

Jede Abmessung wird durch den Nennwert und die Toleranz beschrieben.

$$W_g = N \cup T. \quad (2)$$

Die geometrischen Abmessungen hängen hauptsächlich von den Parametern des zukünftigen technischen Mittels ab. Die Anordnung der Außenstrukturen wird durch:

- Abmessungstoleranzen,
- die Toleranz der Gestalt und der Lage,
- die Oberflächenrauigkeit.

beschrieben.

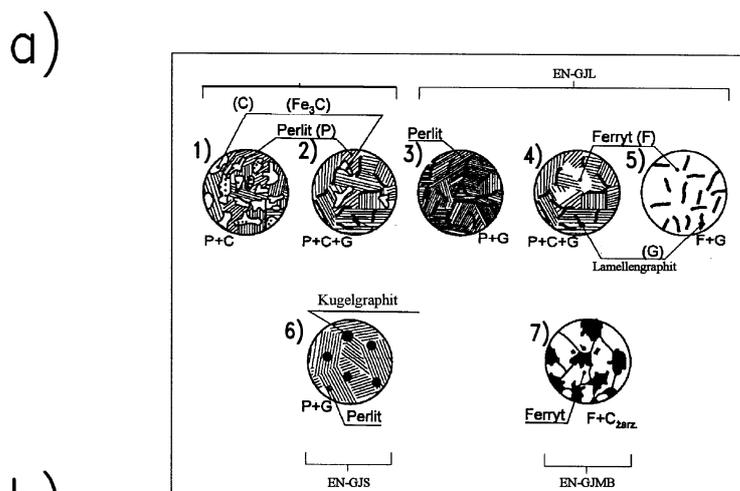
Die geometrischen Merkmale betreffen hauptsächlich die Konstruktion der Elemente und werden in Fertigungszeichnungen angegeben.

2.2 Stoffige Merkmale

Die stoffigen Merkmale C_s beschreiben die Innenstruktur des zukünftigen Erzeugnisses. Sie umfassen die stoffige Konstruktionsgestalt Π_s sowie die stoffigen Abmessungen W_s ,

$$C_s = \Pi_s \cup W_s. \quad (3)$$

Die stoffige Gestalt Π_s (Bild 3a) ist das qualitative Konstruktionsmerkmal, das die Mikrostruktur des zukünftigen Erzeugnisses beschreibt. In Bild 3a wurden die stoffigen Konstruktionsgestalten der Gusseisen dargestellt. Es wird beispielsweise die Gestalt des Graphits geändert, die beim einfachen Gusseisen mit Lamellengraphit, dagegen beim sferoidalen Gusseisen die kugelförmige Gestalt annimmt.



b) EN-GJL-Gusseisen mit Lamellengraphit

Stereomechanische Eigenschaften	- 150	- 150	- 200	- 200	- 250	- 300	- 350
	g=5-10	g=10-20	g=5-10	g=10-20	g=5-10	g=10-20	g=10-20
Zugspannung Rm [MPa]	155	130	205	180	250	270	315
Fließspannung Rep0.1min [MPa]	98	98	130	130	165	195	228
Dehnungsmodul E [x103 MPa]	78-103	78-103	88-113	88-113	103-118	108-137	123-143
Physikalische Eigenschaften	- 150	- 150	- 200	- 200	- 250	- 300	- 350
	g=5-10	g=10-20	g=5-10	g=10-20	g=5-10	g=10-20	g=10-20
Dichte [kg/dcm3]	7.1 - 7.3						
Spezifische Wärmeleitfähigkeit [kcal/kg C]	0.11 - 0.12						
Koeffizient der Wärmeausdehnung [kcal/m h C]	0.0104						

Bild 3: Stoffige Konstruktionsgestalt Π_t sowie stoffige Abmessungen W_t

Die stoffigen Abmessungen W_s (Bild 3b) sind quantitative Konstruktionsmerkmale, die die Eigenschaften des Stoffes beschreiben, aus dem das zukünftige Erzeugnis gefertigt werden wird. Die Anordnung der stoffigen Abmessungen bilden:

- stereomechanische Eigenschaften,
 - Grenze der Fließspannung $Re_{p0.1min}$ [MPa],
 - Grenze der Zugspannung R_m [MPa],
 - Verlängerung A5,
 - Aufprallwerte,
 - Zugfestigkeit f_d ,
 - Biegefestigkeit f_d ,
 - Drehfestigkeit f_s ,
 - Druckfestigkeit f_{dv} ,
 - Oberflächendruckfestigkeit f_{db} ,
 - Hertz-Druckfestigkeit f_{dbH} ,
 - Härte HB,
 - Poissons-Zahl ν ,
 - Dehnungsmodul E [MPa],
 - Schubmodul G,

- u.ä..
- physikalische Eigenschaften,
 - Dichte [kg/dcm^3],
 - spezifische Wärmeleitfähigkeit [kcal/kg C],
 - Koeffizient der Wärmeausdehnung [kcal/m h C],
 - maximale Arbeitstemperatur,
 - u.ä.
- chemische Eigenschaften,
 - Korrosionsbeständigkeit,
 - Säurebeständigkeit,
 - Basenbeständigkeit,
 - u.ä.
- Prozentanteile der Legierungsbestandteile,
 - Kohlenprozentgehalt,
 - Manganprozentgehalt,
 - Siliziumprozentgehalt,
 - u.ä.

Die stoffigen Merkmale werden hauptsächlich in Fertigungszeichnungen und in Verzeichnissen der Elemente symbolisch angegeben z.B. Stahl E335 (18G2A). Auf Grund der symbolischen Bezeichnung können die stoffige Gestalt sowie die stoffigen Abmessungen aus Normen und anderen Literaturquellen entnommen werden. In vielen Konstruktionsbüros werden in den Dokumentationen die wesentlichen stoffigen Abmessungen mit den bestimmten Abmessungstoleranzen (z.B. $R_e=185\pm 10$ [MPa]) angegeben, auf deren Grundlage der Ingenieur-Werkstofffachmann die Art des Stoffes bestimmt, aus dem das gegebene Element gefertigt werden soll. Die Toleranzen der stoffigen Abmessungen bestimmen die Anordnung der Verteilung der Innenstrukturen des zukünftigen Elements.

2.3 Montage-Merkmale

Die Montage-Merkmale C_m beschreiben die Zustände des zukünftigen technischen Mittels und werden während der Montage vergeben. Sie betreffen die mitwirkenden Elemente, deren Zustände das richtige Funktionieren bezeichnen. Das Beispiel dafür kann die in Bild 4 dargestellte Reibspannverbindung sein. Indem durch die Schraubenverbindung die durch Oberflächen mitwirkenden Keile gespreizt werden, werden Zustände in Form strahlender Kräfte zwischen dem Innenkeil und der Welle sowie dem Außenkeil und der Schneckenradnabe bewirkt, die dann in Reibungskräfte zwischen den Oberflächen umgewandelt werden. Je nach Anziehmoment der Imbusschrauben wird auf dem Umfang die Übertragung des Drehmoments vom Schneckenrad auf die Welle möglich sein. Der Anziehmoment, der das Montage-Konstruktionsmerkmal ist, sollte entsprechend berechnet und auf der Gesamtzeichnung eingetragen werden.

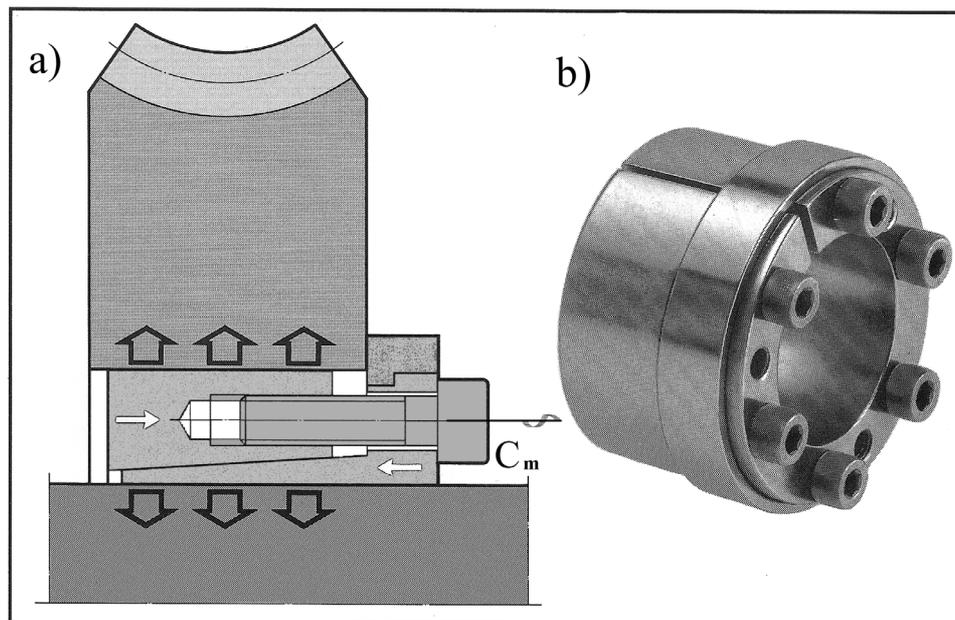


Bild 4: Montage-Konstruktionsmerkmale C_m

Der Anziehmoment der Schraubenverbindung ist ein wesentliches Konstruktionsmerkmal, das während der Montage mit dem Drehmomentschlüssel vergeben wird und das richtige Funktionieren der Verbindung bedingt. Zu solchen in den Erzeugnissen vergebenen Montage-Merkmalen gehören:

- Anziehmoment der Gewindeverbindungen,
- Anziehmoment der Schraubenverbindungen,
- Kraft der Presse in der Pressverbindung,
- Presskraft in der Schnappverbindung,
- Aufruf der Vorkräfte in Erzeugnissen zwecks Abnahme der Spannungen während des Funktionieren des technischen Mittels z.B. komprimierte Tragwerke,
- Vorwärmtemperatur (eventuell Kühltemperatur) in der Fressverbindung,
- u.ä.

3 Modell des Entwicklungsprozesses

In der Methodologie der Schlesischen Schule wurde das folgende Modell des Projektierungs-Konstruktionsprozesses gebildet. Es ist möglich das Projektieren und Konstruieren als einen Entwicklungsprozess darzustellen, Bild 5.

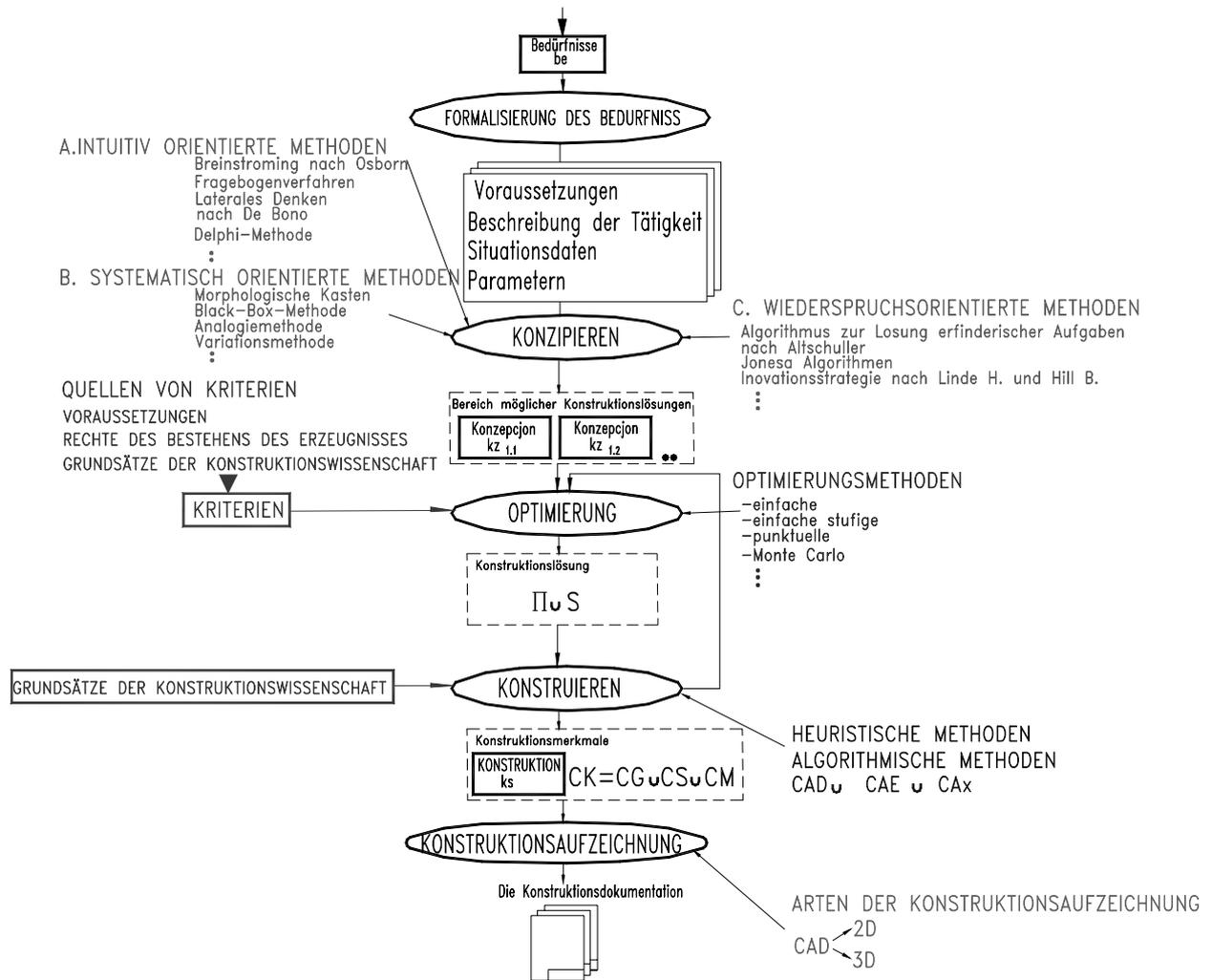


Bild 5: Modell des Entwicklungsprozess

Das Ergebnis des **Projektierens** ist hauptsächlich das **System**, dagegen das Ergebnis des **Konstruierens** ist die **Konstruktion**. Die Methodologie erfasst die Stadien des Prozesses sowie die diese Stadien unterstützenden Methoden. Der Prozess beginnt dann, wenn es den Bedarf gibt, der formell in Form des Entwicklungsvoraussetzungen aufgezeichnet wird. Die Entwicklungsvoraussetzungen bestehen aus: Beschreibung der Tätigkeit (entspricht dem allgemeinen System SO_n des zukünftigen technischen Mittels), Situationsdaten sowie Parametern (charakteristische Merkmale des zukünftigen technischen Mittels).

Das nächste Stadium des Prozesses ist **Konzipieren**, das als Bildung des Bereiches möglicher Konstruktionslösungen verstanden wird, das auch am schöpferischsten ist und bedarf der Kreativität. Die Konstruktionslösung ist das detaillierte System SU_n^i und der Grundriss der Konstruktionsgestalt Π^i ,

$$rks_n^i = SU_n^i \cup \Pi^i. \quad (4)$$

Das Ziel ist den möglichst breiten Bereich möglicher Lösungen zu bilden, die explizit meistens graphisch in Form der Konzeption kc_j dargestellt werden sollten. Die Erfüllung der Konzipierzwecke führte zum Entstehen einer zahlreichen Menge von Methoden, die in der Methodologie in drei Hauptgruppen aufgeteilt wurden [4]:

- A. INTUITIV ORIENTIERTE METHODEN – die Auslösung von Ideen erfolgt vorwiegend auf der Grundlage von spontanen Assoziationen und größerer Anzahl von Teilnehmern des Stadiums,
- B. SYSTEMATISCH ORIENTIERTE METHODEN – die ein schrittweises, zielorientiertes Vorgehen erfordern, abhängig von der allgemeinen Struktur des technischen Entwicklungsprozess,
- C. WIEDERSPRUCHSORIENTIERTE METHODEN – nutzen den Zusammenhang von Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution zur orientierten Erarbeitung Produkt- und Verfahrensideen.

Optimierung ist die kriteriale Wahl aus dem Bereich möglicher Lösungen. In diesem Stadium gibt es einerseits den während des Konzipierens entstandenen Bereich möglicher Lösungen, andererseits die Anordnung der Kriterien. Die Quelle für die Bildung der Kriterien sind:

- Entwicklungsvoraussetzungen,
- Rechte des Bestehens des Erzeugnisses [1,2,3], wo wie folgt unterschieden wird:
 - Rechte der technischen Zweckmäßigkeit,
 - Rechte der Herstellungsmöglichkeiten,
 - wirtschaftliche Rechte.
- Grundsätze der Konstruktionswissenschaft [1,2], wo wie folgt unterschieden wird:
 - Grundsatz der optimalen Belastung,
 - Grundsatz des optimalen Stoffes,
 - Grundsatz der optimalen Standfestigkeit,
 - Grundsatz optimaler Verhältnisse verbundener Größen.

Um eine objektive Wahl der Konstruktionslösung durchzuführen, wurden solche Optimierungsmethoden erarbeitet wie: einfache (ein Kriterium), einfache stufige (durch sequentielle Erfüllung des Kriteriums), punktuelle (mit vielen Kriterien mit punktuellen Bewertung der Kriterien und dann der Konstruktionslösungen gegenüber der Kriterien), analytische Methoden (z.B. Monte Carlo mit Anwendung des Lagrange' Multiplikators, gradiente), Abmessungswerte mit MES-Anwendung (I-DEAS Variantenanalyse), der Konstruktionsgestalt mit MES-Anwendung (in CAE-Programmen wie: MSC Nastran, TOSCA).

Das Ergebnis der Optimierung ist die Konstruktionslösung $r_{ks_{opt}}$ für die Durchführung im Konstruktionsprozess.

Konstruieren ist die Wahl der Konstruktionsmerkmale: der geometrischen, stoffigen und Montage-Merkmale. Es werden sämtliche für die Fertigung des technischen Mittels nötige Merkmale bestimmt, indem die Nutzungs-, Fertigungs- und Recyclingkriterien erfüllt werden. Die Grundlage für die Wahl qualitativer Konstruktionsmerkmale ($\Pi = \Pi_g \cup \Pi_t$) sind hauptsächlich:

- detailliertes System SU,
- Parameter des zukünftigen technischen Mittels Pa_i ,
- Fertigungstechnologien Te_k .

$$\langle \text{SU}_n, \text{Pa}_i, \text{Te}_k \rangle \xrightarrow{\text{schoepferische_Faehigkeiten}} \Pi \quad (5)$$

In der Konstruktionsfamilie der Zangengreifer (Bild 6) kann das allgemeine System SO_n verbal folgend definiert werden: „Greifen von Objekten zwecks Verlagerung“.

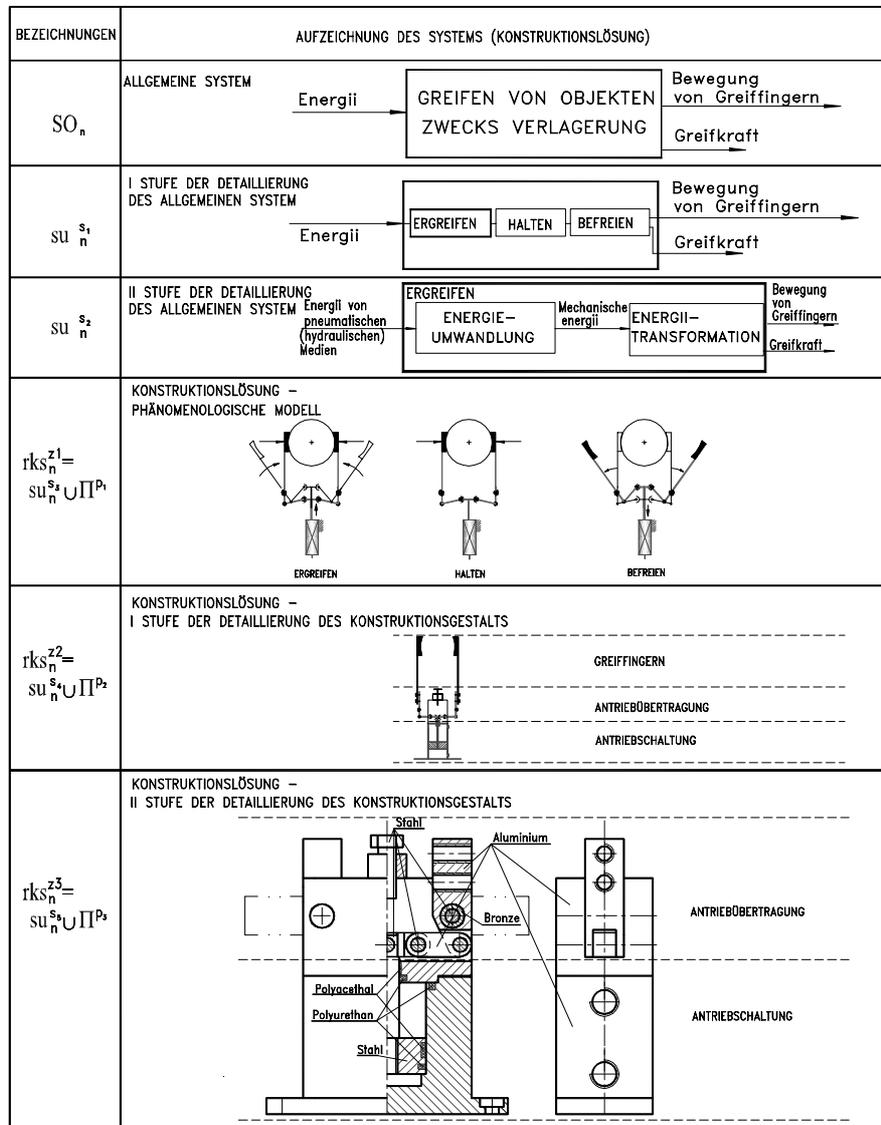


Bild 6: Modell des Übergangs vom allgemeinen System zur Konstruktionsgestalt

Durch das Detaillieren des allgemeinen Systems $\text{SO}_n \rightarrow \text{su}_n^{s_1} \rightarrow \text{su}_n^{s_2}$ werden solche grundlegenden Relationen der Umwandlungen bestimmt wie: Energieumwandlung und Energietransformation. In der nächsten Stufe des Systemdetaillierens zeigt sich der erste Umriss der Konstruktionsgestalt, die das phänomenologische Modell der Konstruktionsfamilie bildet. In diesem Modell werden die Kopplungsrelationen zwischen den mitwirkenden Elementen (den Modellen von hohem Grad der Allgemeinheit) dargestellt. Die Aufzeichnung des detaillierten Systems in Form der Kopplungs- und Umwandlungsrelationen, wie auch die Konstruktionsgestalt der Konstruktionsfamilie bildet die Konstruktionslösung $\text{rks}_n^{z_1}$. Von diesem Zeitpunkt an werden die Konstruktionslösung samt dem System $\text{rks}_n^{z_1} \rightarrow \text{rks}_n^{z_3}$ detailliert. Das Ergebnis der Detaillierung in der ersten Phase ist die Konstruktionslösung $\text{rks}_n^{z_2}$ mit der festgelegten

Systemstruktur (Aufteilung auf Gruppen, Untergruppen und Elemente) also der hervorgehobenen Antriebschaltung, Anordnung der Antriebübertragung und den Greifingern. Die höchste Stufe des Detaillierens der Konstruktionslösung ist die detaillierte geometrische und stoffige Konstruktionsgestalt der Konstruktionsfamilie sowie das System mit den festgelegten Kopplungs- und Umwandlungsrelationen zwischen den mitwirkenden Elementen, die meistens in nichtöffentlicher Form dargestellt werden.

Die Konstruktionsgestalt beeinflussen auch die Parameter des technischen Mittels Pa_i . Einer der Parameter des Zahnradgetriebes ist die u Übersetzung. Je nach Wert der Übersetzung u gibt es: ein-, zwei- und dreistufige Übersetzungen, also dieser Parameter beeinflusst die Konstruktionsgestalt.

Die Konstruktionsgestalt hängt auch von der Fertigungstechnologie Te_k ab. Anders sieht die Konstruktionsgestalt des in der Schweißtechnologie gefertigten Zahnradgehäuses (7a), und anders in der Abgusstechnologie. (Bild 7b).

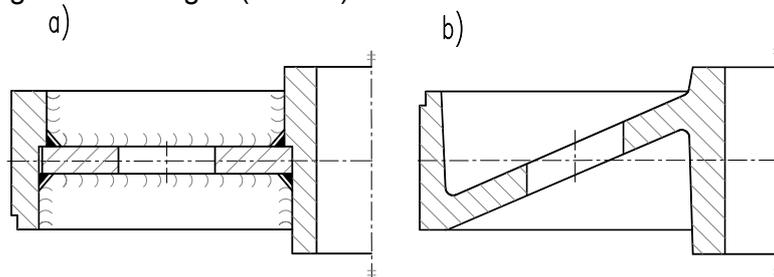


Bild 7: Geometrische Konstruktionsgestalten der Zahnradgehäuse

Dagegen die Grundlage für die Wahl der quantitativen Konstruktionsmerkmale sind hauptsächlich Parameter des zukünftigen technischen Mittels Pa_i .

$$Pa_i \xrightarrow{\text{Operatoren}} W . \quad (6)$$

Die Methoden der Wahl von Konstruktionsmerkmalen werden folgend geteilt:

- heuristische – sie basieren auf schöpferischen und kreativen Fähigkeiten der Ingenieure,
- algorithmische – sie nutzen die Berechnungsprogramme, Datenbasis und Operatoren.

Das Ergebnis des Konstruierens ist die als Abstraktum verstandene Konstruktion.

Das letzte Stadium des Konstruktions- Projektierensprozesses ist die **Aufzeichnung der Konstruktion**. Es gibt verschiedene Formen der Aufzeichnung von Konstruktionen, unter denen die manuellen Methoden und die mit Anwendung graphischer Programme unterschieden werden. Die manuelle Aufzeichnung ist hauptsächlich die Aufzeichnung in Form:

- traditioneller technischer Zeichnungen,
- Katalogzeichnungen,
- transparenter Zeichnungen.

Die Aufzeichnungen der Konstruktion mit Computerunterstützung sind Aufzeichnungen, die folgende Programme in Anspruch nehmen:

- graphisches Programm Klasse 2D (AutoCAD, LogoCAD, CoCreate (ME10)),
- graphisches Programm Klasse 3D (Inventor, Solid Works, Solid Edge),
- fortgeschrittene graphische Programme (Pro/Engineer, I-DEAS, Unigraphics, Catia).

Der grundlegende Vorteil der fortgeschrittenen graphischen Programme ist deren Assoziativität. Das Ergebnis des Entwicklungsprozesses ist die Konstruktionsdokumentation, die Grundlage für die Erstellung der technologischen Dokumentation ist.

4 Literatur

- [1] Dietrych J.: System und Konstruktion. WNT, Warszawa 1985.
- [2] Dietrych J.: Projektowanie i konstruowanie. WNT Warszawa 1974
- [3] Dietrych J., Rugenstein J.: Einführung In die Konstruktionswissenschaft. Gliwice 1982
- [4] Linde H., B. Hill.: Erfolgreich erfinden. Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag Darmstadt 1993