

EIN NEUES KONZEPT FÜR KONSTRUKTIVE FUNKTIONEN

Hans-Joachim Franke

1 Einleitung

Nachdem die Konstruktionsmethodik in den letzten 30 Jahren eine Vielzahl von Funktionen vorgeschlagen hat [2 bis 14], ist natürlich die Frage zu stellen, warum hier ein weiterer Vorschlag gemacht wird. Im ersten Kapitel dieses Beitrags wird an Hand von Anforderungen, die an einen methodischen Konstruktionsprozeß zu stellen sind, gezeigt, daß keiner der bisherigen Funktions-Sets alle wichtigen Anforderungen hinreichend erfüllt. Daher wurde das im folgenden erläuterte Konzept entwickelt, das weitgehend widerspruchsfrei zu einer Reihe bisheriger Ansätze ist.

2 Anforderungen an „Konstruktive Funktionen“ für das methodische Konstruieren

Einige übergeordnete Prinzipien für einen methodischen Konstruktionsprozeß sind evident:

Der methodische Konstruktionsprozeß soll

zielgerichtet,
effektiv,
einfach zu handhaben
lösungsoptimierend,
problemangepaßt und
kreativ sein.

Aus diesen übergeordneten Prinzipien lassen sich Merkmale ableiten, die „Konstruktive Funktionen“ besitzen sollten, d.h. also Anforderungen an Konstruktive Funktionen. Dabei sind einige Merkmale durchaus mehreren Prinzipien zuzuordnen.

Zielgerichtetheit:

1. Beschreibbarkeit gewünschter Wirkzusammenhänge

Effektivität:

2. Ableitbarkeit von bzw. Zugriff zu realisierenden Effekten
3. Eindeutige Definierbarkeit
4. Mathematische Formalisierbarkeit und Operabilität, Eignung für Kalküle
5. Quantitative Verwendbarkeit (metrische Eigenschaften)

Problemangepaßtheit:

6. Beschreibung zeitlicher, ggf. instationärer Wirkabläufe (Zustandsfolgen)

- 7. Beschreibung komplexer Wirkzusammenhänge (z.B. Netzwerke)
- 8. Eignung für Beschreibung digitaler Zusammenhänge
- 9. Eignung für Beschreibung analoger Zusammenhänge

Handhabbarkeit:

- 10. Natürlichsprachliche Verständlichkeit
- 11. Begrenzter Satz von Funktionen

Kreativität und Optimalität

- 12. Vollständigkeit (für alle konstruktive Aufgaben!)
- 13. Allgemeingültigkeit
- 14. Geeignet für unterschiedliche Abstraktionsstufen

Aus der einfachen Auflistung der Anforderungen sind bereits einige Zielkonflikte ablesbar, z.B. begrenzter Satz von Funktionen - Beschreibung komplexer Wirkzusammenhänge
natürlichsprachliche Verständlichkeit - eindeutige Definierbarkeit / Formalisierbarkeit.

Daher ist wenig verwunderlich, daß die bisherigen Vorschläge jeweils spezifische Schwachstellen aufweisen, weil jeweils nur bestimmte Anforderungen konzeptionell im Vordergrund standen.

Ohne dies hier vollständig zu explizieren, seien hier lediglich einige typische Beispiele von Schwachstellen aufgeführt:

Funktionstyp	Erfüllte Anforderungen	Nicht erfüllte Anforderungen
Allgemeine Funktionen [2 bis 8]	1.(m.E.),3.(m.E.),7.,8.(m.E.),11., 12.(m.E.),13.,	4.,5.,2.,6.,10.,14.
”Spezielle Funktionen” [12,7]	1.,2.,3.,4.,5.,9.,11.	6.,7.,8.,10.,12.,13.,14.,
”Kollersche Funktionen” [10,11]	1.(m.E.),3.(m.E.),4.(m.E.),7.,8.(m.E.),9 13. (m.E.)	2 (nur indirekt),4.,5.,6.,8.,10.,11., 12.,14.
Regeltechnische Funktionen [13,14]	1.,3.,4.,5.,6.,7.,9.,11.,	2.,8.,10.,12.,13.,14.
Logische Funktionen [5,8]	1.,4.,6.,7.,8.,11.,12.,	2.,3.,5.,9.,10.,13.,14.
Wertanalytische Funktionen	1.,6.,7.,9.,10.,12.,13.,	2.,3.,4.,5.,8.,11.,14.
Hybride Petrinetze [14]	1.(m.E.),3.,4.,5.(m.E.),6.(m.E.),7 ., 8.,9.(m.E.),11.,	2.,10.,12.,13.,14.

3 Generelle Ansätze für Konstruktionsziele und Produktbeschreibung

3.1 Universelle Konstruktionsziele und ein formalisierter Nutzenbegriff

Sucht man nach einem für alle technischen Produkte gültigen Optimierungsziel, so lassen sich zwei evidente Axiome formulieren:

1. **Der Nutzen eines technischen Produktes soll ein Maximum werden.**
2. **Der Aufwand für Erzeugung, Betrieb und Außerbetriebnahme eines technischen Produktes soll ein Minimum werden.**

Diese Aussagen sind relativ trivial und finden sich in irgend einer Form in nahezu allen konstruktionsrelevanten Literaturstellen. Hier sei lediglich auf den Kesselringschen Vorschlag zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung sowie auf die Aussagen zur Bewertung bei Pahl/Beitz und bei Roth verwiesen [1,8,9]. Bezieht man in den Nutzenbegriff, z.B. in Form des in der Wertanalyse verwendeten "Geltungsnutzens", auch ästhetische und/oder Image-relevante Zielvorstellungen mit ein, kann man sogar von einer nahezu vollständigen Beschreibung von Konstruktionszielen sprechen.

Selbst terminliche Zielsetzungen in engerem Sinne können berücksichtigt werden, wenn man den Aufwandsbegriff entsprechend definiert.

Ansatz für die Formalisierung eines universell verwendbaren Nutzenbegriffs:

Produkte verarbeiten Stoffe, Energien und Informationen. Vorteil dieser Begriff ist ihre hohe Allgemeinheit, die eine Beschreibung nahezu aller denkbaren Produktfunktionen erlaubt

Nachteile der Begriffe Stoff, Energie und Information sind:

1. Sie schließen den Systembegriff zwar nicht aus, sie implizieren aus ihrer umgangssprachlichen Bedeutung jedoch vorzugsweise unstrukturierte Mengen, bzw. Flüsse. Reale Produkte verarbeiten jedoch i.a. systemhafte Objekte, die in ihrer Struktur berücksichtigt werden müssen.
Selbst ein einfacher Eierkocher muß so konstruiert werden, daß die Struktur des umgesetzten Gutes - hier das mit einer zerbrechlichen Schale versehenen Ei's - konstruktiv berücksichtigt wird. Beschreibungen allein mit den Begriffen Stoff, Energie und Information werden geradezu abwegig und klingen zynisch, wenn etwa Menschen, das von einem Produkt "umgesetzte Gut" darstellen. Beispiel: Operationstisch = Speicherspeicher.
2. Es gibt bisher keine allgemein anerkannte Klassifikation und Spezifikation der drei Grundgrößen, die eine systematische Konkretisierung bis auf eine praktisch nutzbare Ebene erlaubt.
3. Nur im Fall von Energien wird ein unmittelbarer Zusammenhang zu Wirkungen physikalischer Effekte hergestellt ($Wirkung = \int (E - U) dt$).
4. Die Formulierung statischer Funktionen ist sinnvoll nicht durchführbar.

Die genannten Nachteile lassen sich vermeiden, wenn man von vornherein von einer systemartigen "Umsatzgröße" ausgeht.

Für diese "Umsatzgröße" wird der Begriff "**Nutzobjekt**" vorgeschlagen.

Gründe für die Bezeichnung „Nutzobjekt“:

1. Objekt bezeichnet sehr allgemein einen **abgrenzbaren Gegenstand der Betrachtung**.

Dieser Gegenstand der Betrachtung kann - muß aber nicht - systemhaft sein,
er kann - muß aber nicht - körperlich sein.

2. Das Produkt soll Nutzen hinsichtlich des betrachteten Objektes erzeugen, i.a. seinen Wert erhöhen.

Dieser Nutzen besteht allgemein darin, daß Merkmale des Nutzobjektes in gewünschter Weise verändert oder aber erhalten bleiben; dies mögen folgende Beispiele erläutern:

Das oben erwähnte Ei soll durch den Eierkocher in seiner stofflichen und biologischen Konsistenz verändert werden.

Ein Auto als Nutzobjekt des Produktes Waschanlage soll vom Zustand schmutzig in den Zustand sauber übergehen, dabei aber in seinem sonstigen Zustand konstant bleiben, z.B. mit intaktem Spiegel und ohne Schrammen.

Ein Stück Butter als Nutzobjekt des Produktes Kühlschrank soll in seinen ernährungsphysiologischen Eigenschaften konstant bleiben.

Damit kann man zusammenfassen:

Zweck eines Produktes bzw. Nutzen eines Produktes ist die gewollte Änderung und/oder Erhaltung bestimmter Eigenschaften von Nutzobjekten.

Dabei wird vorausgesetzt : Eigenschaft = Merkmal und Wert

In der üblichen Weise naturwissenschaftlicher Modellierung ist es zweckmäßig und üblich, Eigenschaften im Raum-Zeit-Koordinatensystem als Zustände \mathcal{Q}_i (Vektoren, Matrizen, Tensoren) zu beschreiben.

In diesem Zusammenhang gilt

Zustand des Nutzobjektes = Gesamtheit der Eigenschaften des Nutzobjektes

Versteht man den Stolz über oder die Freude an einem Produkt als Zustände des "Nutzobjektes" Mensch, so lassen sich auch die sogenannten **Geltungsfunktionen** mit dem beschriebenen Konzept abbilden.

In ähnlicher Weise lassen sich **menschbezogene Informations- oder Unterhaltungsfunktionen**, beispielsweise von Produkten wie Büchern, Fernsehgeräten oder Computerspielen mit dem beschriebenen Konzept beschreiben, vergl. Beispiele in Tafel 1.

3.2 Generalisierte Funktionsbeschreibung von Produkten durch Zustandsfolgen von "Nutzobjekten"

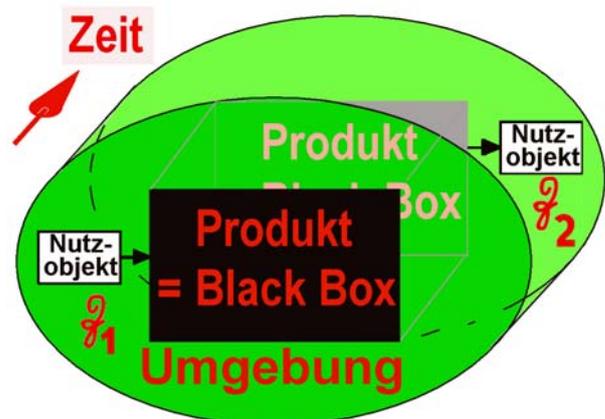
Das folgende Bild 1 stellt schematisch die "Konstruktive Funktion" eines Produktes dar.

Definition “Konstruktive Funktion”:

Eine “Konstruktive Funktion” KF ist die gewollte (gewünschte) Zustandsänderung $d\mathcal{Z}$ oder Zustandskonstanz $d\mathcal{Z} = 0$ eines Nutzobjektes. Sie hat den Charakter einer “Soll-Funktion”. Sie kann auch durch eine gewünschten Zustandsfolge (digital: $\mathcal{Z}_0, \mathcal{Z}_1, \dots, \mathcal{Z}_{n-1}, \mathcal{Z}_n$) bzw. einen Zustandsverlauf (analog: $\mathcal{Z} = f(t)$) beschrieben werden.

Bild 1:

Das zu konstruierende Produkt erzeugt einen gewollten (gewünschten) Zusammenhang zwischen dem Anfangs-und/oder Eingangszustand eines Nutzobjektes und dem End-und/oder Ausgangszustand eines Nutzobjektes. Dabei können ggf. Zwischenzustände vorgeschrieben sein.



Die Realisierung Konstruktiver Funktionen führt i.a. auch zu unerwünschten Zustandsänderungen, z.B. zu Nebenwirkungen bzw. zu einer

Störfunktion SF.

Bezeichnet man die realisierte Konstruktive Funktion als “IST-Funktion” oder Effektive Funktion EF, gilt:

SF = EF - KF oder in Zustandsgrößen beschrieben:

$$d\mathcal{Z}_s = d\mathcal{Z}_e - d\mathcal{Z}_k$$

Beispiel:

Ein Kühlschrank regelt unter dem Einfluß höherer Außentemperaturen die Innentemperatur nicht konstant aus, z.B. mit einem Fehler von 2 Grad C, dann wird das “Nutzobjekt” Stück Butter nicht wie gewünscht mit 8 Grad C sondern - stationärer Zustand vorausgesetzt - mit 10 Grad C aus dem Kühlschrank kommen.

3.3 Beispiele für Konstruktive Funktionen

Produkt	Nutzobjekt	Zustand (relevant. Merkmal)	Zustandsänderung/-erhaltung, Geltungsfunktion
Zahnarztstuhl	Patient	Zahnschmerz	Behandlung
Ring	Person	Aussehen	Schmücken
Fachbuch	Buchbesitzer	Informationsgehalt	Speicherung
Autowaschanlage	PKW	Verschmutzung	Säuberung
Milch-Zentrifuge	Milch	Fettgehalt	Trennen von Fett und Wasser
Durchlauferhitzer	Wasser	Temperatur	Temperaturerhöhung
Nußknacker	Nuß	Schale intakt	Brechen der Nußschale
Solver	DGL	Gleichungssystem	Lösungserzeugung
Getriebe	Mech. Energie	Drehzahl/-moment	Drehmomenterhöhung
Künstlerisch. Bild	Betrachter	Seel./geistiger Zustand	Empfinden, Lernen
Hochofen	Kohle-Erzgem.	Eisengehalt im Erz	Eisengewinnung
ICE	Fahrgast	Ort	Ortsänderung
Otto-Motor	Energie	Energieart	Energiewandlung
Talsperre	Trinkwasser	Physiolog. Merkmale	Speicherung
Talsperre	Lageenergie	Energiegehalt	Speicherung
Wohnhaus	Bewohner	Trock., warme Umgeb.	Schutz vor Regen u. Kälte

Tafel 1: Der Nutzen von Produkten als gewünschte Zustandsänderung oder -erhaltung von "Nutzobjekten".

Die Beispiele beweisen, daß das Konzept universell geeignet ist und auch praktisch anschaulich gedeutet werden kann.

Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Funktionen, die nach diesem Konzept definiert wurden, zu realisierenden Effekten, Prinzipien oder Entwürfen läßt sich über die physikalisch orientierte Beschreibungsmethodik relativ leicht herstellen.

Das folgende Beispiel in Bild 2 kann diese Behauptung zwar nicht beweisen, es demonstriert jedoch eine mögliche Vorgehensweise an einem der Übersichtlichkeit halber bewußt sehr einfach gewähltem Beispiel. In diesem Fall fällt die Funktionsmodellierung zusammen mit den lange bekannten sogenannten „Speziellen Funktionen“ [12,13,8].

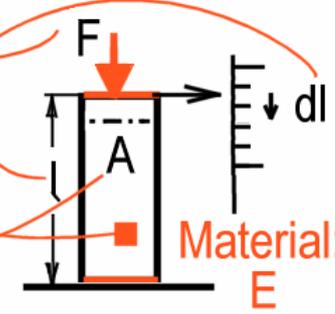
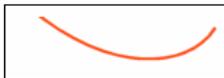
Aufgabe: Kraft messen		
Zweck was soll sein	Mittel was kann sein	
Konstruktive Funktion Funktionsmodell $s = f(F)$	Effekt Effektmodell $\sigma = E \cdot \epsilon$ $\sigma = F/A = E \cdot dl/l$ $s = dl$ (Hooksches Gesetz)	Prinzip Prinzipmodell 
 = "matching"		

Bild 2: Die physikalisch orientierte Formulierung von konstruktiven Funktionen erleichtert das Finden von Lösungen.

Die definierten Funktionen sind für verschiedene Abstraktionsstufen geeignet, da sich sowohl das betrachtete Nutzobjekt als auch die betrachtete Zustandsfolge unterschiedlich konkret bzw. abstrakt darstellen lassen, vergl. Tafel 2:

Produkt	Nutzobjekt	Zustandsänderung
Signalverstärker	Signal	verstärken
Meßverstärker	elektrisches Signal Gleichstrom (Ue,I)	Spannung verstärken Spannungspegel verzehnfachen
Fahrzeug	Fahrgast	transportieren
ICE	Fahrgast XY mit Koffer	von BS Hbf nach Berlin Zoo transportieren

Tafel 2: Unterschiedliche Abstraktionsstufen Konstruktiver Funktionen

4 Definition von Aufwand und Nutzen

Einer unmittelbaren Verwendung der diskutierten Funktionen im Rahmen einer quantitativen Optimierung mit den oben genannten zwei universellen trivialen Optimierungszielen (Nutzen erhöhen, Aufwand mindern) stehen jedoch noch zwei offene Fragen als Hindernisse im Wege:

1. Was ist exakt unter Aufwand und Nutzen zu verstehen ?

2. Wie sind Aufwand und Nutzen gegeneinander zu gewichten, gibt es eine universell nutzbare Zielfunktion zur Verknüpfung der beiden Ziele ?

Ein drittes konstruktionsmethodisches Problem ist schließlich noch die Einordnung und Auswertung dieser Zielfunktion im Rahmen des methodischen Konstruierens.

Wegen der kombinatorischen Explosion der Lösungsmöglichkeiten wäre es besonders wünschenswert, bereits in den frühen Phasen der Konstruktion beim Finden von Prinzipien und Konzepten auf ein derartiges Werkzeug zurückgreifen zu können.

4.1 Was ist Aufwand

Geht man von der wörtlichen Bedeutung von "Aufwand" aus, kommt man zu einer einfachen Vorstellung für eine Definition des Aufwands:

Aufwand ist alles, was für das Produkt in seinen Lebensphasen aufgewendet werden muß.

Das Produkt verbraucht bzw. braucht in seinen Lebensphasen Ressourcen.

Es verbraucht (entwertet):

Material und Hilfsstoffe		in allen Lebensphasen
Energie		

Es braucht (benötigt) bzw. verbraucht die damit gekoppelten Kosten :

Entwicklungs-, Fertigungs-, Prüf-, Montage-, Wartungs- und Inbetriebnahme-Zeiten
Bedienung, Steuerung
Raum

Diese Ressourcen sind i.a. durch Kosten zu bewerten. In diesem Fall ergibt sich automatisch eine Gewichtung der Einzelaufwände über die Kosten. Allerdings ist dies, wie wir wissen auch nicht immer der Stein der Weisen, da jeder Kostenrechnung auch eine Philosophie mit bestimmten Prämissen zu Grunde liegt.

Daher und auch deshalb, weil für die frühen Phasen des Konstruierens eine Kostenbewertung kaum möglich ist, ist es vorteilhaft, auf die ursprünglichen Ressourcen zurückzugreifen.

Sieht man von den Geltungsfunktionen ab, erlaubt die obenstehende Definition durch ihren unmittelbaren Bezug zu physikalischen Zustandsgrößen sofort quantitative Betrachtungen. Der Grad, Güte und Intensität der Zustandsänderung, die Güte und Dauer der Zustandserhaltung können durch konkrete physikalische Größen beschrieben werden.

Gewichtung und Gewinnung einer Wertfunktion bzw. Zielfunktion

Wie für die Aufwandsseite ist auch für die Nutzenbetrachtung eine generelle Bewertung nach monetären Maßstäben möglich und damit auch eine relative Gewichtung.

Praktisch ergeben sich hier jedoch meist noch schwierigere Probleme als auf der Aufwandsseite.

Als Beispiele seien etwa die Zustanderhaltungsfunktion "Sicherheit" oder die Geltungsfunktion "ästhetische Anmutung" genannt. Selbst die scheinbar so einfache Bewertung von Energien ist bei genauer Betrachtung doch nicht ohne Probleme, wenn man etwa an die Exergiebetrachtung der Energiearten denkt. Weitere Beispiele für Probleme der quantitativen Bewertung liefern die ökologischen Zustandserhaltungsfunktionen.

Mit den oben erläuterten Ansätzen für Aufwand und Nutzen kann eine universelle Wertfunktion für die Beurteilung von Lösungen bzw. ihre Optimierung in der folgenden Form formuliert werden und damit auch eine globale Gewichtung:

$$W = N/A \quad (\text{Wert} = \text{Nutzen}/\text{Aufwand})$$

Wenn unterschiedliche prinzipielle Lösungen zu beurteilen sind, genügt es i.a. die relativ beste zu finden oder mathematisch formuliert die höchst bewertete.

Bei der Wahl geeigneter prinzipieller Lösungen genügt es, eine „richtige“ Reihung der Lösungen zu erhalten.

Bei zusammengesetzten Wertfunktionen kann zwar auch die Reihung abhängig von gewählter Funktion und Gewichtung beeinflusst werden, dieser Fall ergibt sich jedoch nur bei schlecht ausgewogenen Lösungen. Wenn nun nur solche Lösungen berücksichtigt werden, die für alle gewünschten Zielmerkmale eine Mindest Erfüllung aufweisen, bleibt die Reihung gegenüber Gewichtung und Zielfunktion nahezu invariant.

Damit können andere Gesichtspunkte berücksichtigt werden, um praktisch geeignete Ansätze zu formulieren.

Da die Aufwandparameter im wesentlichen nur aus Struktur und Aufbau der Lösungen herleitbar sind, gilt generell:

Quantifizierbare konkrete Wertfunktionen sind nur auf der Basis bestimmter prinzipieller Lösungen zu erzeugen !

Diese sind durch geometrische und physikalische Zusammenhänge gekennzeichnet.

Physikalische und geometrische Zusammenhänge lassen sich oft als Potenzansätze darstellen oder zumindest zu solchen Ansätzen vereinfachen. Daher wird man zu besonders einfachen Zusammenhängen kommen, wenn die Wertfunktion auch als Potenzansatz aufgestellt wird:

<-- Wertfunktion -----> <--Strukturfunktion -->
 Ni: Nutzenparameter Ai: Aufwandsparameter p_i : Parameter der Lösung

$$W = (N_1^v * N_2^o * .. * N_m^\mu) / (A_1^\alpha * A_2^\beta * .. * A_p^\gamma) = p_1^x * p_2^y * .. * p_n^z$$

Die linke Seite beschreibt den Wert der Lösung im Sinne des Produktzwecks, wir können sie Wertfunktion nennen, die rechte Seite beschreibt i. a. Struktur, Anordnung und Werkstoffe der Lösung, wir wollen sie Strukturfunktion nennen.

Die Robustheit gegenüber Reihungsfehlern kann verbessert und die Zahl der insgesamt notwendigen Parameter kann verringert werden, wenn man das **Buckingham'sche π -Theorem** [15] berücksichtigt und versucht, zu einer **dimensionslosen Charakteristik** zu gelangen, d.h. daß die jeweiligen linken und rechten Seiten von Gleichung (2) sich aus dimensionslosen Größen zusammensetzen.

Dimensionslose Größen haben zudem den Vorteil, daß sie unabhängig vom Maßsystem sind und beispielsweise in Katalogen als **Kennzahlen** oder Kennzahlbereiche abgespeichert werden können.

Untersuchungen haben gezeigt, daß es für Auswertungen manchmal nützlich ist, die Wertfunktion dimensionsbehaftet zu verwenden. In diesem Fall ist es jedoch vorteilhaft, einen großen Anteil dimensionslos und einen kleinen überschaubaren Teil, vorzugsweise eine einzelne Größe, als dimensionsbehafteten Faktor zu belassen. Hierüber wurde bereits an anderer Stelle berichtet [16].

5 Schrifttum

- [1] Kesselring,F.: Technische Kompositionslehre.Berlin: Springer, 1954.
- [2] Bock, A.: Konstruktionssystematik - die Methode der ordnenden Gesichtspunkte. Z. Feingerätetechnik 4 (1955), H.1, S.4-5.
- [3] Bischoff, W. u. F. Hansen: Rationelles Konstruieren.Konstruktionsbücher Band 5, Berlin: Verlag Technik, 1953.
- [4] Hansen, F.: Konstruktionssystematik. Berlin: Verlag Technik, 1966.
- [5] Rodenacker, W.: Physikalisch orientierte Konstruktionsweise. Z. Konstruktion 18 (1966), H.7, S.263-269.
- [6] Roth, K., Franke,H.J. und Simonek,R.: Algorithmisches Auswahlverfahren zur Konstruktion mit Katalogen. Z. Feinwerktechnik 75 (1971), H. 8, 5. 337-345.
- [7] Roth, K., Franke, H.J. und Simonek, R.: Die Allgemeine Funktionsstruktur. Z. Konstruktion 24 (1972), H. 7, S. 277-282.
- [8] Roth K. : Konstruieren mit Konstruktionskatalogen . Berlin, Springer 1982
- [9] Pahl G., W. Beitz: Konstruktionslehre. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 1986
- [10] Koller, R.: Konstruktion von Maschinen, Geräten und Apparaten mit Unterstützung elektron. Datenverarbeitungsanlagen. VDI-Z- 113 (1971), Nr. 3, S. 482-490.

- [11] Koller R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, Berlin, Springer, 1985.
- [12] Simonek, R.: Ein Verfahren zur Ermittlung der speziellen Funktionsstruktur in der Konstruktion.
Diss. TU Braunschweig, 1974.
- [12] Krummhauer, P.: Rechnerunterstützung für die Konzeptphase der Konstruktion.
Diss. TU Berlin, 1974.
- [13] Mac Farlane, A.G.J.: Analyse technischer Systeme. Mannheim: BI-Hochschultaschenbücher Bd. 81, 1967.
- [14] Schnieder, E.: Prozeßinformatik, Einführung in die Petrinetze, Vieweg, 1986
- [15] Pawlowski, J.: Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalischen Forschung. Berlin: Springer, 1971
- [16] Franke, H.-J.: Konstruktive Ähnlichkeit, ein komplexer aber nützlicher Begriff in: Gedenkschrift für Wolfgang Beitz, Springer, 1999.