

Methoden des Konstruierens

Übersicht über Geräte, Methoden und Hilfsmittel zur Beseitigung des Engpasses Konstruktion

Teil 1

Von Hans-Peter Wiendahl und Udo Baatz, Aachen

Der Konstruktionsbereich ist zu einem neuen Schwerpunkt der allgemeinen Rationalisierungsbemühungen geworden. Zunehmend führt man organisatorische Hilfsmittel, technische Hilfsmittel (EDVA) und neue Konstruktionsmethoden in der Konstruktion ein. Der vorliegende Beitrag analysiert zunächst die Ursachen dieser Entwicklung und zeigt im weiteren einige heute bereits eingesetzte Hilfsmittel an Hand von Beispielen auf und diskutiert die Anwendungsmöglichkeiten.

1. Einleitung

Die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens hängt mehr und mehr davon ab, ob es auf dem Markt immer wieder neue oder zumindest verbesserte Produkte anbieten kann. Untersuchungen zeigen, daß das Umsatzwachstum in den meisten Industrien in erheblichem Maße von neu entwickelten Produkten bestimmt wird, d.h. daß erheblich mehr neue Produkte als früher in der gleichen Zeit zu entwickeln sind. Als Folge dieser Tendenz zeigt sich, daß die der Fertigung vorgelagerten Unternehmensbereiche – und dort insbesondere die Konstruktion und Arbeitsvorbereitung – zum Engpaß für den betrieblichen Durchlauf der Fertigungsaufträge werden.

Die bisher angewandten Methoden und Hilfsmittel zum Bewältigen der anfallenden Aufgaben in diesen vorgelagerten Abteilungen reichen offensichtlich nicht mehr aus.

Diese Tatsache wird durch Untersuchungsergebnisse bestätigt [1]. In diesen Untersuchungen wurde die Verteilung der Durchlaufzeiten bei Einzelfertigungsaufträgen für die verschiedenen Unternehmensbereiche im Verhältnis zur Gesamtdurchlaufzeit ermittelt.

Der Beitrag ist ein Auszug aus dem gleichnamigen Vortrag, der im Rahmen der Tagung der VDI-Fachgruppe Landtechnik am 6. Okt. 1970 in Ulm gehalten wurde.

Dr.-Ing. Hans-Peter Wiendahl ist Oberingenieur am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dres. h. c. H. Opitz), Dipl.-Ing. Udo Baatz ist wissenschaftlicher Assistent am gleichen Institut.

Es ergab sich, daß von der Gesamtdurchlaufzeit der Aufträge im Mittel 55 % auf die Bereiche Konstruktion, Beschaffung und Arbeitsvorbereitung entfallen. Die verbleibenden 45 % verteilen sich zu 23 % auf die mechanische Fertigung der Einzelteile und zu 22 % auf die Montage zum Fertigprodukt. Aus dieser Untersuchung läßt sich unmittelbar die Forderung nach gezielten Rationalisierungsmaßnahmen im Konstruktionsbereich ableiten.

Unterstrichen wird die Bedeutung dieser Forderung, wenn neben dem zeitlichen Durchlauf der Produkte auch der Kostenverlauf für die einzelnen Bereiche betrachtet wird. Wesentlich ist hierbei die Unterscheidung zwischen „Kostenfestlegung“ und „Kostenverursachung“ durch die einzelnen Bereiche. Würden nämlich nur die von den Abteilungen verursachten Kosten betrachtet werden, so ergäbe sich, daß Konstruktion und Arbeitsvorbereitung als Abteilungen selber nur einen geringen Einfluß auf die Gesamtkosten eines Produktes haben. Tatsache ist jedoch, daß von diesen beiden Bereichen die Gesamtkosten des Produktes durch das Lösungsprinzip, den Werkstoff, die Genauigkeit und teilweise durch die Wahl der Fertigungsverfahren weitgehend festgelegt werden [2].

Im Fertigungs- und Montagebereich wurden bis heute beachtliche Rationalisierungserfolge erzielt. Die zeitliche und kostenmäßige Durchlaufbetrachtung der Produkte macht aber folgendes deutlich: Es ist nicht sinnvoll, die Rationalisierungsanstrengungen im Fertigungsbereich zu intensivieren, bevor nicht vergleichbare Maßnahmen im Bereich der Konstruktion und Arbeitsvorbereitung vorgenommen worden sind.

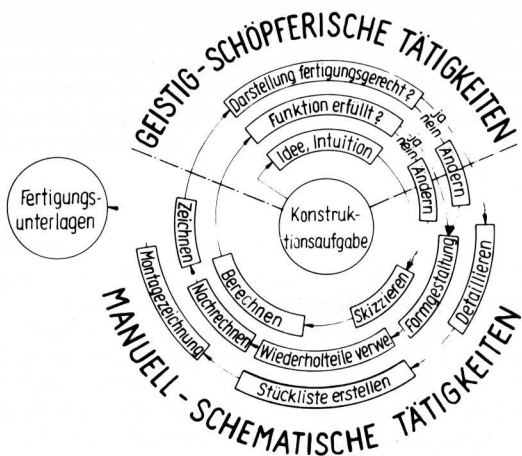
Ausgehend von dieser Erkenntnis sei nun zunächst das Konstruktionsgeschehen untersucht, um für gezielte Rationalisierungsmaßnahmen die Einsatzbereiche abzugrenzen und die Vorgehensweise sowie geeignete Maßnahmen zu formulieren.

2. Analyse des Konstruktionsprozesses

Bei einer näheren Betrachtung stellt man fest, daß der Konstruktionsprozeß, d.h. das Entwickeln und Gestalten eines Produktes bis zur Fertigungsreife, aus dem Aufbereiten und Verarbeiten von Informationen besteht [3], deren Abläufe Bild 1 vereinfacht darstellt. Die zum Erfüllen der Aufgabe nötigen Informationen stehen in verdichteter Form, z.B. als Pflichten- oder Lastenhefte, zur Verfügung und werden vom Konstrukteur in Fertigungsunterlagen (Zeichnungen und Stücklisten) umgesetzt.

Ausgehend von der Konstruktionsaufgabe folgen nach einem gedanklich formulierten Vorschlag zeitaufwendige Skizzier-, Berechnungs- und Zeichenarbeiten zum Bewerten dieser Konzeption. Die Darstellung des Gedankenmodells wird laufend mit Hilfe von Berechnungsergebnissen und auf Grund der Erfahrung des Konstrukteurs konkretisiert und verbessert. Dieser Zyklus setzt sich solange fort, bis der Konstruktionsvorschlag den gestellten Anforderungen genügt. Beim anschließenden Gestalten der Form werden

Bild 1. Ablauf des Konstruktionsprozesses.



		Konstruktionsphasen			
		Ideenfindung	Prinzip-erarbeitung	Gestaltung	Detailierung
Konstruktionsarten	Neu-konstruktion				
	Änderungs-konstruktion				
	Prinzip-konstruktion				

Bild 2. Zuordnung von Konstruktionsphasen zu Konstruktionsarten.

so weit wie möglich bereits konstruierte Baugruppen und Einzelteile wiederverwendet. Auch dieser Zyklus wird so oft durchlaufen, bis die Lösung fertigungsgerecht ist. In der folgenden Stufe entstehen die Fertigungsunterlagen in Form von Detailzeichnungen, Stücklisten und Montagezeichnungen. Für den Einsatz von Hilfsmitteln und Methoden zum Verbessern des Konstruktionsprozesses ist jedoch eine weitere Analyse der Vorgänge nötig.

Daher wurde in Bild 2 versucht, den Konstruktionsprozeß in verschiedene sog. Makrophasen zu strukturieren: Dabei lassen sich mit entsprechenden Überschneidungen Phasen mit grundsätzlich unterschiedlichen Tätigkeitsschwerpunkten erkennen. Es sind dies die Phase der Ideenfindung, der Prinzipiarbeit, der Gestaltung und der Detailierung. Entsprechend den Aussagen aus Bild 1 läßt sich in der Ideenfindungsphase ein großer Anteil schöpferischer Aktivität feststellen; dieser Anteil nimmt mit fortschreitender Detailierung proportional bis zu einem geringen Wert ab. Umgekehrt proportional steigt der Anteil an manuell-schematischen Tätigkeiten im Verlauf des Konstruktionsprozesses. Beginnend mit einem kleinen Anteil in der Ideenfindungsphase werden in der Detailierungsphase praktisch nur noch Routinearbeiten verlangt.

Für eine weitergehende Analyse des Konstruktionsprozesses erscheint es sinnvoll, zusätzliche Parameter zu berücksichtigen: Einer der wesentlichsten Gesichtspunkte ist dabei die Art der Konstruktion, die zur Ausführung gebracht werden soll. Im Bild 2 sind daher zusätzlich zu den Konstruktionsphasen als grundsätzlich verschiedene Konstruktionsarten die Neukonstruktion, die Änderungskonstruktion und die Prinzipkonstruktion aufgeführt. Für die Neukonstruktion gilt, daß eine definierte Aufgabenstellung mit präzisierten Eingangsinformationen sowie exakt formulierten Anforderungen an das Fertigprodukt vorliegen. Wichtig für die Neukonstruktion ist, daß dem Bearbeiter für die Lösungsfindung keine oder so gut wie keine Lösungsvorschläge bekannt sind. Es müssen neue Lösungswege erarbeitet werden. Bei der Änderungskonstruktion ist demgegenüber der Kern der Lösung bereits vorhanden, lediglich kleinere Teilaufgaben sind neu zu durchdenken. Bei der Prinzipkonstruktion schließlich liegt das Lösungsprinzip von vorn-

herein fest. Hier geht es im wesentlichen um ein Variieren der Abmessungen und Anordnungen der vom Prinzip her feststehenden Elemente. Beispiele für solche Lösungen sind Transformatoren, Getriebe, Wärmetauscher, Laufkrane u.a.m. Unabhängig von den genannten Konstruktionsarten kann man jeweils eine Optimierung vornehmen, bei der mehrere Alternativlösungen erstellt und im Hinblick auf eine Zielfunktion (wie z.B. minimales Gewicht, Volumen oder Kosten) optimiert werden. Das Bild 2 macht weiterhin deutlich, daß nur für eine Neukonstruktion alle vier Makrophasen des Konstruktionsprozesses durchlaufen werden müssen.

Mit dieser groben Strukturierung des Konstruktionsprozesses sind die ersten Ansätze für eine qualitative Analyse des komplexen Vorganges „Konstruieren“ geschaffen, die jedoch im Hinblick auf konkrete Maßnahmen weiter zu quantifizieren sind (z.B. durch zeitliche Untersuchungen). Die ersten Aussagen über die zeitlichen Anteile verschiedener Konstruktionstätigkeiten an der Gesamtkonstruktionszeit wurden bereits vor einigen Jahren durch R. Simon [3] auf Grund von Erhebungen in 15 Unternehmen des allgemeinen und Werkzeugmaschinenbaus möglich. Einen Auszug aus neueren Untersuchungen in einem Unternehmen der Kleinserienfertigung, die von früheren Ergebnissen nur unwesentlich abweichen, zeigt Bild 3. Ein Ergebnis der Auswertung ist die prozentuale Verteilung der beim Konstruktionsprozeß anfallenden direkten und indirekten Konstruktionstätigkeiten.

Auf direkte Konstruktionstätigkeiten – das sind solche, die dem sichtbaren Arbeitsfortschritt dienen – entfallen nur 55 % der Gesamttätigkeitszeit. Die restlichen 45 % gliedern sich in die verschiedenen indirekten Konstruktionstätigkeiten, die hauptsächlich als Routinetätigkeiten charakterisiert werden können, wie z.B. Stücklisten erstellen, Informationen einholen, Zeichnungen kontrollieren, Schriftwechsel u.ä. Bei den direkten Konstruktionstätigkeiten – links im Bild – ergibt sich, daß auf die eigentliche ingenieurmäßige Entwurfsarbeit nur etwa 10% der Gesamtkonstruktionszeit anfallen, dagegen manuelle Zeichenarbeiten mit etwa 18 %, Änderungsarbeiten sogar mit fast 25 % angesetzt werden müssen. Bezeichnenderweise ist ein Anteil an Berechnungsarbeiten von nur etwa 4 % ermittelt worden.

Das Fazit des Istzustandes im Konstruktionsbereich läßt sich auf Grund der bisherigen Ausführungen folgendermaßen formulieren: Bedingt durch die Marktforderungen und die rasche technische Entwicklung müssen in Zukunft immer mehr Produkte konstruiert werden. Dadurch wird der Konstruktionsbereich in den nächsten Jahren einer stetig wachsenden Belastung ausgesetzt [4; 5].

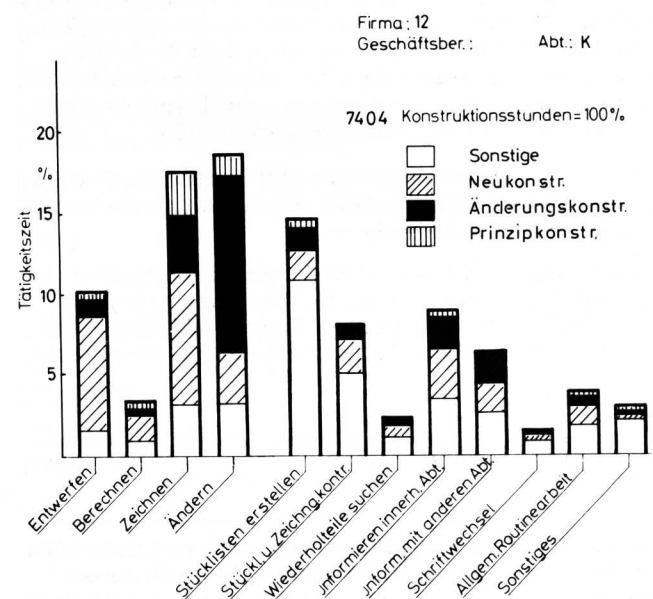


Bild 3. Verteilung der Konstruktionstätigkeiten.

Aus diesen Feststellungen ergibt sich einmal, daß der Konstrukteur vorwiegend geistig-intuitiv arbeiten sollte. Um dies zu ermöglichen, sind alle repetitiven Arbeiten weitgehend maschinell auszuführen. Zum anderen sind die langen Auftrags-Durchlaufzeiten in der Konstruktion durch entsprechende Rationalisierungsmaßnahmen zu verkürzen.

Im folgenden sollen deshalb Möglichkeiten aufgezeigt werden, die zum Erreichen dieser Ziele geeignet erscheinen.

3. Hilfsmittel und Methoden

In Bild 4 wird zunächst ein Überblick über die Hilfsmittel und Methoden zum Rationalisieren des Konstruktionsprozesses gegeben; sie sind nach folgenden Gesichtspunkten gegliedert:

- Einsatz von organisatorischen Hilfsmitteln,
- Einsatz von technischen Hilfsmitteln,
- Anwendung geeigneter Arbeitsmethoden.

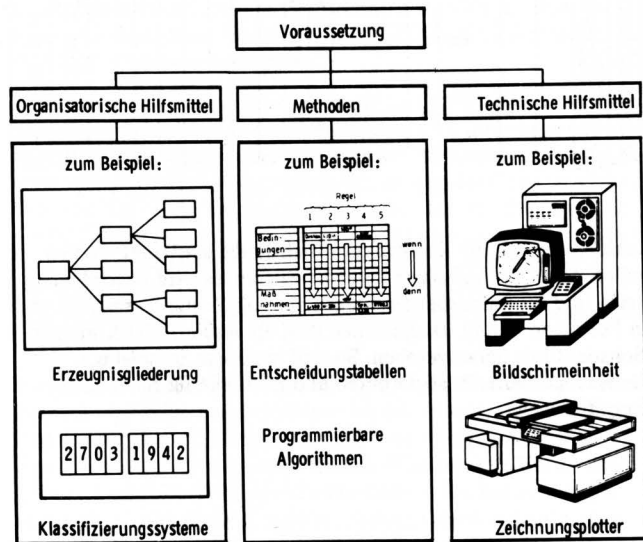


Bild 4. Hilfsmittel und Methoden zur Rationalisierung im Konstruktionsbereich.

3.1. Organisatorische Hilfsmittel

Ihr wirkungsvoller Einsatz ist an entsprechende Vorarbeiten gebunden. So sind in einem ersten Schritt sowohl die Daten und Informationen als auch die Konstruktionstätigkeiten und Konstruktionsabläufe zu erfassen, zu ordnen und zu registrieren, beispielsweise durch eine zeitliche Untersuchung der geschilderten Art. Im daran anschließenden Prozeß des Systematisierens, des Standardisierens und des Typisierens werden nach den Gesetzmäßigkeiten der Konstruktionssystematik und Konstruktionslogik verschiedene organisatorische Hilfsmittel aufbereitet und dokumentiert.

Außer dem Standardisieren von Konstruktionselementen und dem Systematisieren von Konstruktionsabläufen ist der Gliederung der Erzeugnisse in Baugruppen besondere Beachtung zu schenken [6]. So haben Untersuchungen gezeigt, daß ein Produkt während des betrieblichen Durchlaufes mehrfach gegliedert wird, wobei die jeweilige Abteilung ausschließlich ihre eigenen Gesichtspunkte in den Vordergrund stellt.

Mit einer Gliederung, die von allen an der Abwicklung beteiligten Abteilungen gemeinsam erarbeitet ist, lassen sich jedoch die folgenden Ziele verwirklichen:

- Schaffung einer gemeinsamen Basis für Zeichnungsaufbau, Stücklistenansatz und Montage-Netzplanerstellung,
- Förderung der Wiederverwendung von Baugruppen,
- Erleichterung der Angebotskalkulation durch einheitliche Baugruppenabgrenzung.

Mit einer einheitlichen Erzeugnisgliederung sind wesentliche Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit von Baugruppen in der Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Vor- und Nachkalkulation gegeben. Damit wird auch der Einsatz von Klassifizierungssystemen (z.B. für Baugruppen) sinnvoll, da nun in einer bestimmten Baugruppe immer der gleiche Teileumfang enthalten ist [7].

Bild 5 vermittelt einen Überblick über einen Block von Klassifizierungssystemen, das im Rahmen der Entwicklung eines umfassenden, einheitlichen Gesamtnumerierungssystems vom Laboratorium für Werkzeugmaschinen in Zusammenarbeit mit einem Konzern des

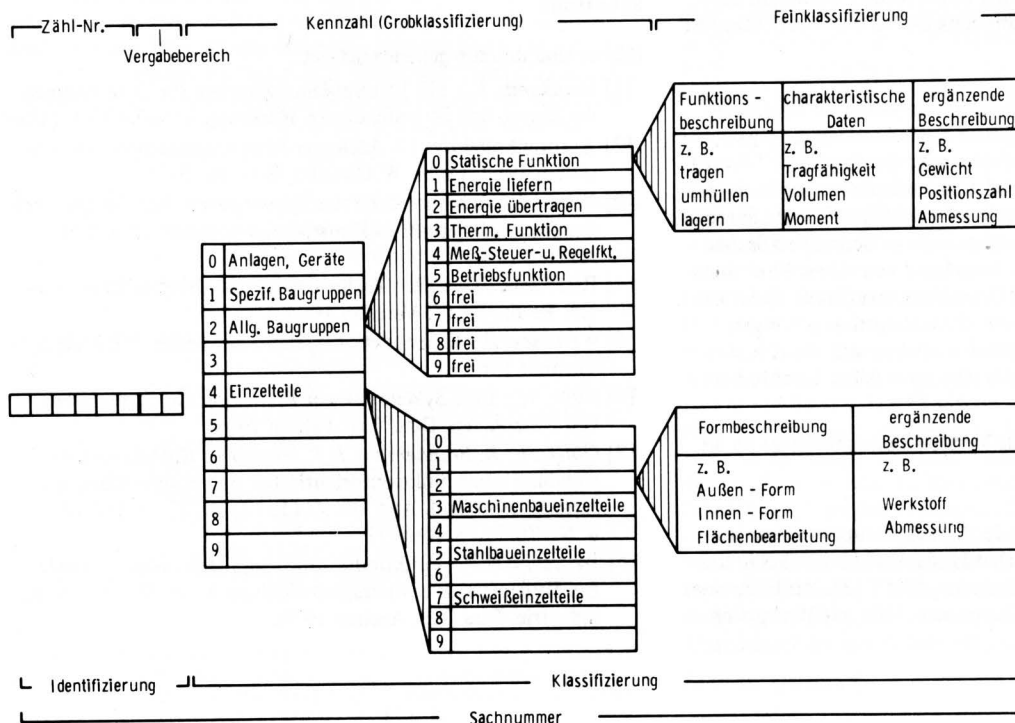
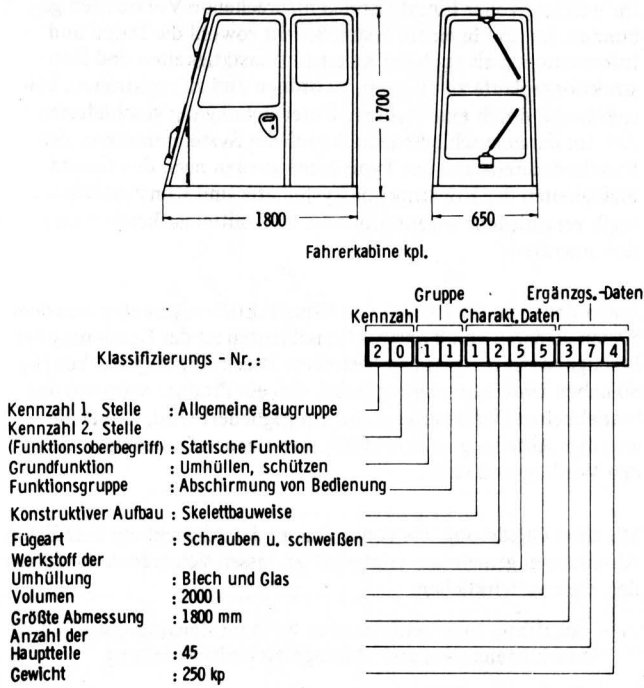


Bild 5. Aufbau einer Sachnummer mit Parallelverschlüsselung.

Bild 6. Klassifizierung einer allgemeinen Baugruppe.



Maschinenbau entwickelt wurde. Das vorliegende Gesamtsystem ist nach dem Prinzip der sog. Parallelverschlüsselung aufgebaut. Man unterscheidet zwischen einem identifizierenden und einem klassifizierenden Nummerungsteil. Mit der Identifizierungsnummer wird jede Sache eindeutig und unverwechselbar benannt, d.h. identifiziert. Diese Nummer dient der Auftragsabwicklung und ist gleich für die Sache, die Zeichnung und den Arbeitsplan. Sie kann unabhängig von der Klassifizierungsnummer benutzt werden.

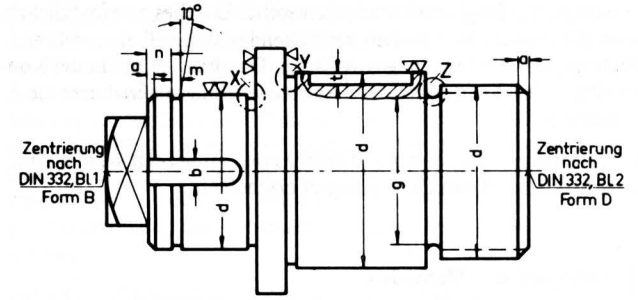
Die Klassifizierungsnummer ermöglicht das Zusammenführen ähnlicher Sachen und wird in eine sog. Kennzahl, die einer Grobklassifizierung entspricht, und in die Feinklassifizierung unterteilt. Die Feinklassifizierung besteht aus je einem Klassifizierungssystem für eine Klasse von Gegenständen, die sich ähnlich sind. Zum Beispiel bedeutet diese Ähnlichkeit bei den Einzelteilen Formähnlichkeit, bei den Baugruppen Funktionsähnlichkeit, bei den Vorrichtungen Verfahrensähnlichkeit usw.

In Bild 5 wird u.a. auf das Klassifizierungssystem für allgemeine Baugruppen als Beispiel eines solchen Systems näher eingegangen [8]. Dieses Klassifizierungssystem wird durch eine „2“ für Allgemeine Baugruppen im Rahmen des Sachnummerungssystems eingeleitet. Das übergeordnete Kriterium für das Klassifizieren der sog. „Allgemeinen Baugruppen“ (im Gegensatz zu den „Spezifischen Baugruppen“) ist die Funktion. Ausgehend von einem Funktionsoberbegriff (Stelle 2) wird eine Grundfunktion (Stelle 3) definiert. In der vierten Stelle werden die zur Grundfunktion gehörigen Funktionsgruppen aufgeführt. Daran schließen sich die charakteristischen Daten an, die die Funktionsgruppe näher beschreiben.

Bild 6 zeigt eine Fahrerkabine als Verschlüsselungsbeispiel für allgemeine Baugruppen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Klassifizierungssysteme und damit ein weiteres organisatorisches Hilfsmittel bietet sich in der Erstellung von Konstruktionsrichtlinien, **Bild 7** [3]. Mit Hilfe eines Schlüssel-systems für Einzelteile lassen sich Teile mit Merkmalen

Bild 7. Konstruktionsrichtlinien für Wellen.



Sicherungs-Einstiche		Gewinderillen			Paßfeder-Nuten		Freistriche z. Schleifen			Fasen	Schlüsselweiten								
d	d _e	m	n _{min}	Gewinde	r	r	g	b	t ₁	r	t	f ₁	f ₂	r ₁	g	ax45°	S _{2kt}	S _{4kt}	
8	7,6			M8	2,5	1	d-2	3	1,7									7	8
10	9,6			M10	3	1	d-2,3											9	8
12	11,5			M12	4	1,2	d-2,7											10	9
14	13,4			M16	5	1,6	d-3	5	2,9	0,2								12	11
15	14,3																	14	12
16	15,2																	14	12
17	16,2																	17	14
18	17	1,8	1,5	M20	5	1,6	d-4	6	3,5		0,2	2	1,5	0,4	1		19	17	
20	19																	22	19
24	22,9			M24	6		d-5	8	4,1									24	22
25	23,9																	24	22
28	26,6																	27	24
30	28,6			M30	8	2	d-6	10	4,7									30	27
32	30,3																	32	27
34	32,3																	32	27
35	33																	32	27
38	36			M36	8		d-6	10	4,7									32	27
38	37,5																	32	27

aussortieren, für die Konstruktionsrichtlinien erarbeitet werden sollen. Über die Aufnahme eines Ist-Zustandes wird durch Häufigkeits- und Funktionsbetrachtungen ein Soll-Zustand ermittelt und in Form von Tafeln, Diagrammen usw. als verbindliche Konstruktionsrichtlinie herausgegeben. So sind in diesem Beispiel u.a. Gewindeausläufe, Paßfedernuten und Einstiche für Sicherungsringe festgelegt.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Brankamp, K.*: Ein Terminplanungssystem für Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung. Würzburg: Physika-Verlag 1968.
- [2] Autorenkollektiv: 13. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 1968. Essen: W. Girardet, Best.-Nr. 0775.
- [3] *Simon, R.*: Rechnergestütztes Konstruieren: Eine Möglichkeit zur Rationalisierung im Konstruktionsbereich. Diss. T.H. Aachen 1968.
- [4] Richtlinie VDI 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Berlin: Beuth-Vertrieb 1964.
- [5] ● *Hansen, F.*: Konstruktionssystematik. Berlin: VEB Verlag Technik 1965.
- [6] *Heyn, W.*: Eine Systematik zur Erstellung und Berechnung von Netzplänen. Diss. T.H. Aachen 1969.
- [7] *Opitz, H., K. Brankamp u. H.P. Wiendahl*: Aufbau und Anwendung eines funktionsorientierten Baugruppenklassifizierungssystems. Ind.-Anz. Bd. 92 (1970) Nr. 31, S. 663/66 u. Nr. 70/71, S. 1666/71.
- [8] *Wiendahl, H.P.*: Funktionsbetrachtung technischer Gebilde – Ein Hilfsmittel zur Auftragsabwicklung in der Maschinenbauindustrie. Diss. T.H. Aachen 1970.