

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Konstruktionsmethodik  
Technisch-wirtschaftliches Konstruieren  
Vereinfachte Kostenermittlung

VDI 2225

Blatt 1

Design engineering methodics  
Engineering design at optimum cost  
Simplified calculation of costs

Inhalt	Seite
Vorbemerkung . . . . .	2
<b>1 Einführung und Übersicht . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>2 Vereinfachte Ermittlung von Material- und Herstellkosten . . . . .</b>	<b>3</b>
2.1 Vereinfachte Ermittlung der Materialkosten . . . . .	3
2.2 Vereinfachte Ermittlung der Herstellkosten . . . . .	5
2.3 Beispiel . . . . .	5
<b>3 Vereinfachte Ermittlung weiterer Kostengrößen . . . . .</b>	<b>8</b>
3.1 Ermittlung der Selbstkosten . . . . .	8
3.2 Ermittlung des Richtpreises . . . . .	8
3.3 Ermittlung der Produkt-Gesamtkosten . . . . .	9
<b>4 Grundbegriffe der Kostenrechnung; die Zuschlagskalkulation . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>5 Vereinfachung der Zuschlagskalkulation zur vereinfachten Kostenermittlung . . . . .</b>	<b>11</b>
5.1 Bedeutung und Zuverlässigkeit verschiedener Kennziffern . . . . .	11
5.2 Volumenbezogene Werkstoffkosten und Relativkosten-Zahlen . . . . .	13
5.3 Bedeutung und Ermittlung von Kostenstruktur und Materialkosten . . . . .	14
5.4 Ermittlung von Materialkostenanteil, Kostenstruktur und Herstellkosten unter Berücksichtigung besonderer Einflußgrößen . . . . .	16
5.5 Ermittlung von Fertigungskosten . . . . .	20
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>21</b>
6.1 Kostenbeeinflussung durch den Konstrukteur . . . . .	21
6.2 Technisch-wirtschaftliche Bewertung . . . . .	23
6.3 Bemessungslehre . . . . .	23
6.4 Schluß . . . . .	23
Schrifttum . . . . .	23

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb  
Ausschuß Technisch-wirtschaftliches Konstruieren

VDI-Handbuch Konstruktion  
VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik  
VDI-Handbuch Betriebstechnik, Teil 1

## Vorbemerkung

Zwischen folgenden Richtlinien besteht ein enger Zusammenhang: In der Richtlinie VDI 2234 „Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur“ wird das Grundlagenwissen der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung speziell für den Konstrukteur vermittelt. Die Richtlinie VDI 2235 „Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren“ gibt eine Übersicht über eine Vielzahl von Methoden und Hilfsmitteln. Die vorliegende Richtlinie VDI 2225 „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ behandelt zwei dieser Methoden so ausführlich und eingehend, wie es für die praktische Anwendung in der Konstruktion erforderlich ist.

Unter dem Begriff „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ werden verschiedene Methoden zusammengefaßt, die die Aufgabe des Konstrukteurs erleichtern sollen, nicht nur technisch sondern auch wirtschaftlich, d.h. kostenmäßig, hochwertige Produkte zu schaffen. Erste Arbeiten wurden um das Jahr 1930 von Dr. sc.techn. Dr.-Ing. e.h. *Fritz Kesselring*, seinerzeit Technischer Direktor des Schalterwerkes der Siemens-Schuckertwerke in Berlin durchgeführt mit ersten Veröffentlichungen ab 1937.

Die Richtlinie VDI 2225 „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ wurde von einem VDI-Ausschuß unter der Leitung von Dr. *Fritz Kesselring* erarbeitet und erschien erstmals 1964. Sie bestand ursprünglich aus zwei Blättern. Blatt 1: Anleitung und Beispiele. Blatt 2: Tabellenwerk. Im Laufe der Jahre erschienen von der Richtlinie mehrere Neuauflagen, in denen jeweils die Ergebnisse der Erfahrungen und Diskussionen der Zwischenzeit, insbesondere auch aus dem VDI-Bildungswerk-Lehrgang „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ berücksichtigt wurden. Dadurch wuchs der Umfang der Richtlinie immer mehr an. Der Übersichtlichkeit der Richtlinie zuliebe wird nun der Inhalt auf vier Blätter aufgeteilt:

- Blatt 1: Vereinfachte Kostenermittlung
- Blatt 2: Tabellenwerk
- Blatt 3: Technisch-wirtschaftliche Bewertung
- Blatt 4: Bemessungslehre

Zunächst wird die Neufassung von Blatt 1 als Entwurf vorgelegt. In diesem Blatt wird die Methode der vereinfachten Kostenermittlung beschrieben, die der Konstrukteur für die wirtschaftliche Bewertung von Entwürfen und Produkten benötigt. Von dieser Methode der vereinfachten Kostenermittlung wird in den Abschnitten 1 und 2 kurz und rezeptartig soviel beschrieben, wie der Konstrukteur im Normalfall für die praktische Anwendung braucht. Die Abschnitte 3 und folgende enthalten eine ausführliche Begründung dieser Methode sowie Einzelheiten und Sonderfälle für ihre Anwendung.

Es war zunächst vorgesehen, die neu genormten Definitionen und Kurzzeichen wirtschaftlicher Begriffe nach DIN 32990 (Entwurf Oktober 1982) zu übernehmen. Da angesichts der lebhaften Diskussion dieses Normentwurfes noch mit erheblichen Änderungen an der Norm zu rechnen ist, wurden in Blatt 1 doch wieder die ursprünglich in VDI 2225 benutzten Begriffe und Kurzzeichen verwendet. Es ist vorgesehen, neue Begriffe und Kurzzeichen zu übernehmen, sobald diese endgültig genormt sind.

## 1 Einführung und Übersicht

Der Konstrukteur ist daran interessiert, in einem möglichst frühen Stadium der Entwurfs- und Konstruktionsarbeit zu schätzen, welche Kosten ein Entwurf verursachen wird. Diese Kostenschätzung soll den Konstrukteur möglichst wenig Arbeitszeit kosten; dafür kann in Kauf genommen werden, daß das Ergebnis der Kostenschätzung weniger genau ist, als das Ergebnis einer Vorkalkulation für ein Angebot oder einer Nachkalkulation, die nur mit erheblichem Aufwand und erst dann durchgeführt werden kann, wenn das Produkt konstruiert und gefertigt ist.

VDI 2225 Blatt 1 „Vereinfachte Kostenermittlung“ bringt in Abschnitt 2 zunächst eine einfache, direkt anwendbare Beschreibung eines Verfahrens, nach dem der Konstrukteur bereits anhand einer maßstäblichen Skizze die Materialkosten und die Herstellko-

sten schätzen kann. Diese Kosten lassen sich vom Konstrukteur am besten beeinflussen und werden zur Beurteilung von Entwürfen herangezogen. Am Schluß des Abschnitts 2 wird diese vereinfachte Ermittlung der Materialkosten und der Herstellkosten an einem vollständigen Beispiel aus der Praxis gezeigt.

In Abschnitt 3 wird die vereinfachte Ermittlung weiterer Kosten behandelt, die für den Konstrukteur neben Material- und Herstellkosten gelegentlich von Interesse sind.

Für die Anwendung der vereinfachten Verfahren der Kostenermittlung im Konstruktionsbüro genügen im Normalfall die Angaben in den Abschnitten 2 bzw. 3 und die dazu erforderlichen Zahlenwerte aus VDI 2225 Bl. 2.

In den weiteren Abschnitten werden diese Verfahren ausführlicher abgeleitet, begründet und Sonderfälle diskutiert, um dem Konstrukteur die vereinfachte Kostenermittlung auch in schwierigeren Ausnahmefällen zu ermöglichen.

In Abschnitt 4 werden dazu die wichtigsten Kostenarten definiert, und zwar anhand des Verfahrens der Zuschlagskalkulation. Dieses Verfahren wird zwar in den Kalkulationsabteilungen weitgehend angewendet, für die Anwendung in der Konstruktion ist es aber zu aufwendig.

In Abschnitt 5 wird, ausgehend von diesem Verfahren, erläutert, wie durch geeignete Verwendung technischer und betriebswirtschaftlicher Kenngrößen der Arbeitsaufwand für die Kostenermittlung ganz erheblich reduziert werden kann bis zu den in Abschnitt 2 und 3 beschriebenen und ähnlichen vereinfachten Verfahren der Kostenrechnung. Die entsprechenden Kenngrößen und ihre Ermittlung im Normalfall und in Ausnahmefällen werden ausführlich behandelt.

Damit hat der Konstrukteur die Möglichkeit, die wichtigsten Kosten, die er zur Beurteilung und Verbesserung seiner Entwürfe benötigt, schon in einem sehr frühen Stadium seiner Arbeit zu ermitteln, im Normalfall mit geringem, in Ausnahmefällen mit höherem Zeitaufwand.

In Abschnitt 6 wird auf den Nutzen hingewiesen, den der Konstrukteur davon hat, frühzeitig die zu erwartenden Kosten zu kennen: Möglichkeiten, die Kosten zu reduzieren, Entwürfe technisch-wirtschaftlich zu bewerten (siehe Richtlinie VDI 2225 Blatt 3) und einzelne wichtige Bauteile und Baugruppen der Konstruktion technisch-wirtschaftlich zu optimieren (vgl. Richtlinie VDI 2225 Bl. 4).

## 2 Vereinfachte Ermittlung von Material- und Herstellkosten

Das gesamte Verfahren zur vereinfachten Ermittlung von Material- und Herstellkosten ist in Bild 1 formelmäßig zusammengestellt und wird im folgenden erläutert. Definitionen und ausführliche Erläuterungen der verwendeten Begriffe können Abschnitt 4 entnommen werden.

$W_{b1}$	$= V_{b1} k_{v1}^* k_{v0};$	$M_1 = W_{b1} (1 + g_w)$
$W_{b2}$	$= V_{b2} k_{v2}^* k_{v0};$	$M_2 = W_{b2} (1 + g_w)$
...		
$W_{bn}$	$= V_{bn} k_{vn}^* k_{v0};$	$M_n = W_{bn} (1 + g_w)$
$M$	$= M_1 + M_2 + \dots + M_n$	
$H$	$= \frac{M}{M'}$	
$W_{b1}$	Bruttowerkstoffkosten, Teil 1	
$V_{b1}$	Bruttomaterialvolumen, Teil 1	
$k_v^*$	Relativkostenzahl = $\frac{\text{Kosten des Vergleichsmaterials}}{\text{Kosten des Bezugsmaterials}}$	
$k_{v1}^*$	Relativkostenzahl, Teil 1 (Werkstoff 1)	
$k_{v0}$	Volumenbezogene Materialkosten des Bezugsmaterials (hier: Rundstahl, 35 bis 100 mm, Durchmesser U St 37-2, DIN 17100, Maßnorm DIN 1013, bei Lieferung von 1000 kg ab Werk)	
$M_1$	Materialkosten, Teil 1	
$g_w$	Werkstoffgemeinkostenzuschlagssatz (Mittelwert)	
$M$	Materialkosten des Produktes	
$H$	Herstellkosten des Produktes	
$M'$	Materialkostenanteil = $\frac{M}{H}$	

Bild 1. Ermittlung der Herstellkosten vollständiger technischer Produkte

### 2.1 Vereinfachte Ermittlung der Materialkosten

Aus der maßstäblichen Skizze eines Entwurfes oder, wenn schon vorhanden, aus der Stückliste werden für jedes Teil die Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  ermittelt. Dazu müssen bei allen Einzelteilen der Eigenfertigung zunächst das Nettomaterialvolumen  $V_n$  und unter Berücksichtigung des Verschnittes das Bruttomaterialvolumen  $V_b$  (das ist das Volumen des entsprechenden, unbearbeiteten Halbzeuges, also des Profilabschnittes, des Blechrohrlings, des Rohgußteiles) ermittelt werden.

Durch Multiplikation des jeweiligen Bruttomaterialvolumens  $V_b$  mit der Relativkosten-Zahl  $k_v^*$  und den volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_{v0}$  des Bezugsmaterials ergeben sich die Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  des entsprechenden Einzelteiles:

$$W_b = V_b \cdot k_v^* \cdot k_{v0} \quad (2.01)$$

Die Bruttowerkstoffkosten  $W_b$ , multipliziert mit dem Werkstoffgemeinkosten-Zuschlagsfaktor  $(1 + g_w)$  ergeben die Materialkosten  $M$ . Bei Zukaufteilen (fremdgefertigten Teilen) werden für die Bruttowerk-

[illegible]

Bild 2. Formular zur Ermittlung der Materialkosten  $M$

stoffkosten  $W_b$  die Einkaufskosten des entsprechenden Teils verwendet.

$$M = W_b (1 + g_w) \quad (2.02)$$

Der Werkstoffgemeinkostenzuschlag  $g_w$  ist bei der Kalkulationsabteilung des Unternehmens zu erfragen. Für den Konstrukteur, der mit möglichst geringem Rechenaufwand schnell zu einem Ergebnis kommen möchte, genügt in aller Regel diese einfache Ermittlung der Materialkosten. Wenn größere Ansprüche an die Genauigkeit der Ermittlung der Materialkosten  $M$  gestellt werden, kann neben dem Zuschlag  $g_w$  ein weiterer, unterschiedlicher Zuschlag  $g_z$  verwendet werden, um die unterschiedliche Höhe der Gemeinkosten bei der Beschaffung von Halbzeug und von Zukaufteilen zu berücksichtigen. Dieses genauere aber auch aufwendigere Kalkulationsverfahren ist in Abschnitt 5.4.6 ausführlich behandelt.

Durch die Addition der Materialkosten aller Einzelteile werden die Materialkosten  $M$  des gesamten Produktes gewonnen. Für diese Materialkostenermittlung

empfehlte sich die Verwendung eines einheitlichen Formulars, Bild 2.

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n \quad (2.03)$$

## 2.2 Vereinfachte Ermittlung der Herstellkosten

Die Materialkosten  $M$  für das vollständige Produkt, dividiert durch den Materialkostenanteil  $M'$  ergeben die Herstellkosten  $H$ . Formelmäßig ausgedrückt:

$$H = M / M' \quad (2.04)$$

Der Zahlenwert von  $M'$  kann entweder VDI 2225 Bl. 2 entnommen oder auf verschiedene andere Art und Weise ermittelt werden, die in Abschnitt 5 behandelt sind.

## 2.3 Beispiel

Das vereinfachte Verfahren zur Ermittlung der Materialkosten  $M$  und der Herstellkosten  $H$ , wie es in den Abschnitten 2.1 und 2.2 beschrieben wurde, wird angewendet auf den Entwurf eines Schneckengetriebes, das z.B. als Stellantrieb für Rohrleitungsklappen dient, Bild 3 und 4, [5].

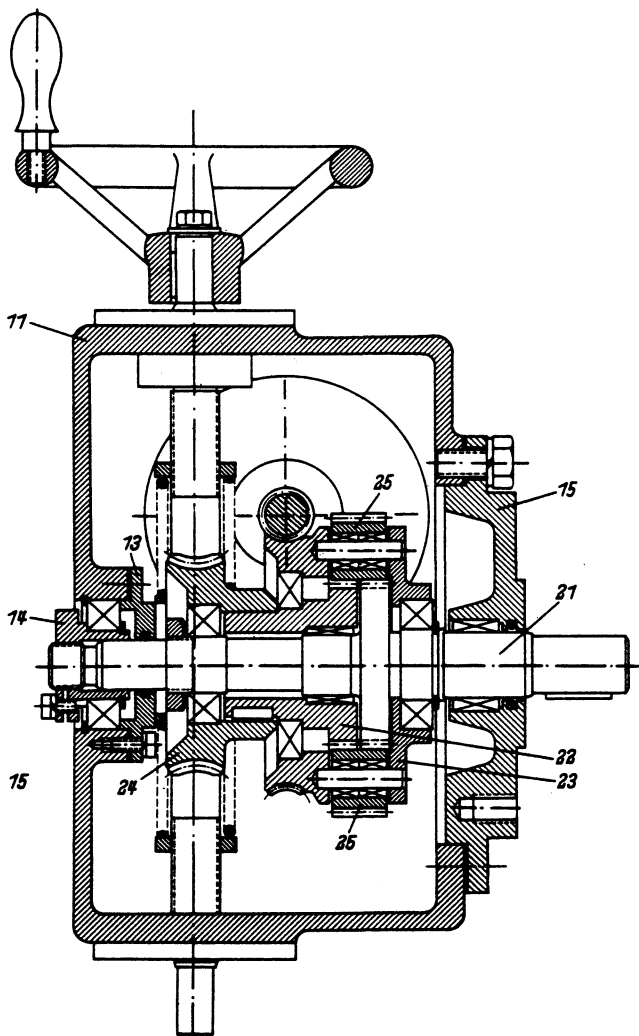


Bild 3. Schneckengetriebe als Stellantrieb für Klappen (Hauptschnitt)

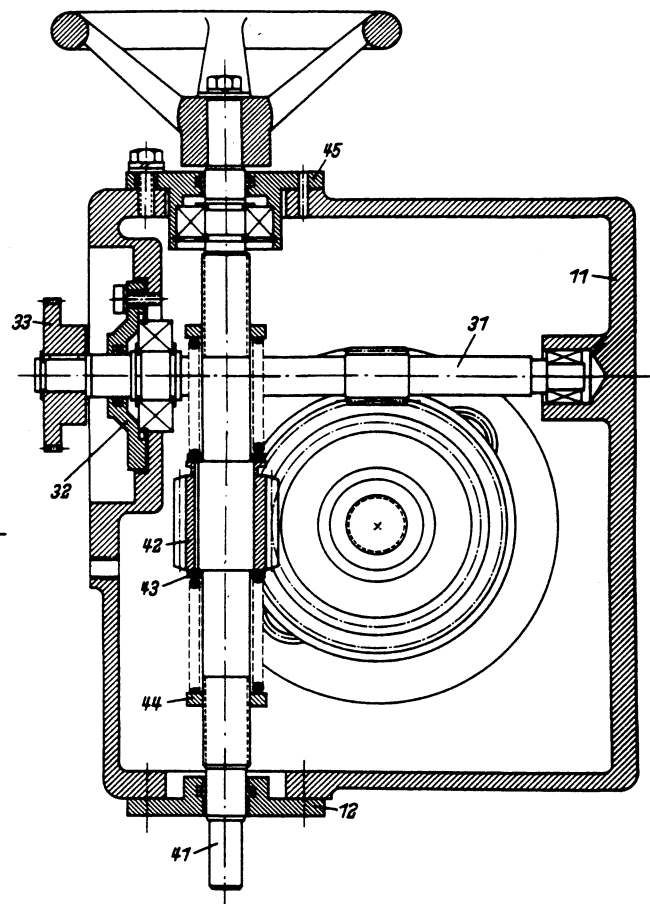


Bild 4. Schneckengetriebe als Stellantrieb für Klappen (Seitenschnitt)

### 2.3.1 Funktion des Getriebes

Stellantriebe haben die Aufgabe, Armaturen u.ä. mechanisch anzutreiben. Klappenantriebe dienen speziell zur Verstellung von Rohrleitungsklappen, aber auch zum Antrieb von Ringblenden, Schleusentoren, Türen von Glühöfen u.a.m. Beim Antrieb von Rohrleitungsklappen kann ein Klappenantrieb sowohl Steuer- als auch Regelaufgaben haben.

Die Aufgabenstellung für den Konstrukteur enthielt folgende Forderungen:

- Stellwinkel der abtreibenden Wellen: 90 bis 120°,
- Stellzeiten: 20 s/120° bis 120 s/120° (=1 bis 0,16 U/min),
- Verwendung von 2- bis höchstens 8poligen Drehstrommotoren (Drehzahl 3000 bis 750 U/min). Diese Bedingung macht große Getriebeuntersetzungen erforderlich.
- Selbsthemmung an der Abtriebswelle, um selbsttätige Verstellung der angetriebenen Armatur zu verhindern,
- Handnotbetätigung über ein Handrad,
- Möglichkeit der drehmomentabhängigen Abschaltung des Antriebsmotors und
- Ausführung als Seriengetriebe und leichte Umbaumöglichkeit auf andere Stellzeiten ist vorzusehen.

### 2.3.2 Konstruktive Ausführung

Die Forderung nach Selbsthemmung wird durch ein vom Motor angetriebenes Schneckengetriebe mit kleinem Steigungswinkel erreicht ( $\gamma \approx 3^\circ$ ), wobei gleichzeitig eine große Untersetzung (1:72) erzielt wird. Eine weitere große Untersetzung (1:20) bewirkt das nachgeschaltete Planetengetriebe, das gleichzeitig die Einleitung der Handbetätigung über eine ebenfalls selbsthemmende Handradschnecke erlaubt. Die Handradschnecke ist auf der Handradwelle gegen vorgespannte Federn verschiebbar gelagert. Die Federn wirken wie eine Drehmomentwaage. Bei einer Momentüberschreitung an der Abtriebswelle verschiebt sich die Schnecke und betätigt eine (nicht dargestellte) Schalteinrichtung. Durch ein einstufiges Motorvorgelege ist das leichte Anpassen der Getriebe an andere Stellzeiten innerhalb bestimmter Grenzen möglich.

### 2.3.3 Ermittlung der Materialkosten

Zur Materialkostenermittlung wird das Getriebe, wie auch sonst üblich, in Baugruppen zerlegt:

- Baugruppe 10: Gehäuse, komplett,
- Baugruppe 20: Umlaufgehäuse,
- Baugruppe 30: Motorschnecke,
- Baugruppe 40: Handradschnecke.

Ferner ist eine Unterscheidung der Einzelteile nötig nach Teilen aus eigener Herstellung (mit Positionsnummern in den Bildern), Zulieferteilen und Normteilen (Untergruppe der Zulieferteile).

Es wird eine Tabelle angelegt, wie sie Bild 5 zeigt. In sie sind alle ermittelten Werte einzutragen. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

Die Brutto-Werkstoff-Volumina  $V_b$  werden überschlägig aus den Abmessungen der fertigen Teile unter Berücksichtigung eines Zuschlages für die Bearbeitung berechnet. Aus VDI 2225 Bl. 2 entnimmt man die Relativkosten-Zahlen  $k_v^*$  und berechnet mit

$$k_{v0} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3$$

die  $k_v$ -Werte. Die nächste Spalte in Bild 5 enthält die Faktoren  $(1 + g_w)$  bzw.  $(1 + g_z)$ , durch die die im Betrieb auftretenden Gemeinkosten für Werkstoffe  $G_w$  und Zulieferteile  $G_z$  berücksichtigt werden.

Durch Bildung der Produkte

$$(1 + g_w) \cdot V_b \cdot k_v \quad \text{bzw.} \quad (1 + g_z) \cdot Z$$

und Aufaddition ergeben sich die Materialkosten  $M$  der entsprechenden Teile. Dieser Rechenvorgang ist nicht wesentlich aufwendiger als die Berechnung der Gewichte, vergleichsweise wären dabei Produkte aus Bruttomaterialvolumen  $V_b$  und Dichte  $\rho$  zu berechnen. Die Normteile werden zu Gruppen zusammengefaßt. Ihre Kosten werden geschätzt.

Im einzelnen ist zu den Positionen in Bild 5 folgendes zu bemerken:

Pos. 11:

Den Faktor  $k_v^*$  findet man in VDI 2225 Bl. 2 unter Berücksichtigung des Gewichtes des Gußteiles ( $G = V_b \cdot \rho = 1770 \text{ cm}^3 \cdot 7,2 \text{ g/cm}^3 = 12750 \text{ g} \approx 12,75 \text{ kg}$ ), des Schwierigkeitsgrades (hier 3) und der Art des Werkstoffes (hier Gußeisen mit Lamellengraphit) mit  $k_v^* = 2,9 \cdot 1,0 = 2,9$ .

Der Gemeinkostenfaktor  $(1 + g_w)$  für Gußteile wird wegen aufwendigerer Lagerhaltung als bei Halbzeugen mit 1,2 statt 1,1, wie sonst üblich, angesetzt.

Pos. 12, 13, 14:

Als Halbzeug wurde gezogenes Material verwendet. Aus VDI 2225 Bl. 2 ist  $k_v^* = 1,6$ .

Pos. 15:

Die Ermittlung von  $k_v^*$  erfolgt wie beim Teil 11:

$$G = 510 \text{ cm}^3 \cdot 7,2 \text{ g/cm}^3 = 3700 \text{ g} \approx 3,7 \text{ kg}$$

$$k_v^* = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0.$$

Pos. 21:

Die Welle ist ein Gesenkschmiedeteil; die Relativkostenzahl  $k_v^*$  läßt sich ähnlich wie bei Gußteilen ermitteln:

$$G = 105 \text{ cm}^3 \cdot 7,85 \text{ g/cm}^3 = 1,530 \text{ g} \approx 1,53 \text{ kg}.$$

Stück- zahl	Teil- Nr.	Bezeichnung	Werkstoff	$V_b$	$k_v^*$	$k_v$	$1+g_w$ $1+g_z$	$M$				
				cm <sup>3</sup>	—	DM/cm <sup>3</sup>	—	DM				
Baugruppe 10												
1	11	Gehäuse	GG 20	1770	2,9	23,1	1,2	49,06				
1	12	Deckel	St37-2 K+G	80	1,6	12,8	1,1	1,13				
1	13	Lagerdeckel	St37-2 K+G	58	1,6	12,8	1,1	0,82				
1	14	Wellenmutter	St37-2 K+G	40	1,6	12,8	1,1	0,56				
1	15	Deckel	GG 20	510	2,0	16,0	1,2	9,79				
1	—	Zulieferungen: Kugellager 6005	Buna Simnia	1500	0,2	1,6	1,1	5,81				
1	—	Nadelkäfig NK 24/16					1,1	6,81				
3	—	O-Ringe					1,1	6,00				
x	—	Fettfüllung					1,1	2,69				
		Normteile: 12 Schrauben 4 Scheiben 12 Federringe 2 Sicherungsringe 2 Papierdichtungen						8,00				
Summe Baugruppe 10 90,67												
Baugruppe 20												
1	21	Welle					C60	195	5,85	46,9	1,2	10,97
1	22	Stirnrad					C35 K+V	145	1,85	14,8	1,1	2,36
1	23	Umlaufgehäuse					Alzen	350	8	64	1,1	24,64
1	24	Schneckenrad	Alzen	118	8	64	1,1	8,51				
2	25	Planetenräder	C35 K+V	27	1,85	14,8	1,1	0,44				
1	—	Zulieferungen: Kugellager 16008					1,1	8,88				
1	—	Kugellager 6004					1,1	5,00				
1	—	Kugellager 6005					1,1	5,81				
1	—	Nadelkäfig NK 21/16					1,1	6,81				
4	—	Nadelkäfige NK 7/10					1,1	18,38				
1	—	Wellenmutter KM 4					1,1	2,30				
1	—	Sicherungsblech MB 4					1,1	0,38				
		Normteile: 2 Paßfedern 2 Stifte 1 Sicherungsring						2,00				
Summe Baugruppe 20 96,36												
Baugruppe 30												
1	31	Schneckenwelle	C35 K+V	75	1,85	14,8	1,1	1,22				
1	32	Lagerdeckel	GG 20	17	2,3	18,4	1,2	0,38				
1	33	Stirnrad	St37-2 K+G	42	1,6	12,8	1,1	0,59				
1	—	Zulieferungen: Kugellager 6203 N					1,1	4,50				
1	—	Nadelhülse HK 1312					1,1	4,00				
1	—	O-Ring					1,1	2,00				
		Normteile: 4 Schrauben 4 Federringe 4 Sicherungsringe						3,00				
Summe der Baugruppe 30 15,69												
Baugruppe 40												
1	41	Welle	USt37-2	104	1	8,0	1,1	0,92				
1	42	Verschiebeschnecke	C35 K+V	45	1,85	14,8	1,1	0,73				
2	43	Scheiben	USt 1303	3,5	1,2	9,6	1,1	0,04				
2	44	Stellmuttern	St37-2 K+G	7	1,6	12,8	1,1	0,10				
1	45	Lagerdeckel	GG 20	138	2,15	17,3	1,2	2,86				
2	—	Zulieferungen: Schraubenfedern					1,1	4,00				
1	—	Kugellager 6203 N					1,1	4,50				
1	—	Handrad					1,2	16,98				
1	—	O-Ring					1,1	2,00				
		Normteile: 5 Schrauben 5 Scheiben 5 Federringe 1 Stift 1 Griff 3 Sicherungsringe 1 Paßfeder						8,00				
Summe Baugruppe 40 40,13												
Materialkosten M= 242,85												

□ = Kostenschwerpunkte

Bild 5. Materialkosten eines Getriebes

Angenommene Stückzahl 200, Schwierigkeitsgrad 2, Werkstoffgruppe B

$$k_v^* = 1,1 \cdot 1,9 \cdot 2,8 = 5,85.$$

Pos. 23 und 24:

Alzen ist eine Zink-Aluminium-Kupfer-Legierung mit guten Gleiteigenschaften. Das Material Alzen ist in VDI 2225 Bl. 2 nicht enthalten. Hier muß zunächst der Lieferantenpreis erfragt werden. Dieser Preis wird in der Regel in DM/kg angegeben. Es wäre möglich, diesen Wert mit dem Gewicht des Teiles und mit dem Gemeinkostenfaktor  $(1 + g_w)$  zu multiplizieren und das Ergebnis direkt in die letzte Spalte der Tabelle (Bild 5) zu übernehmen. Es empfiehlt sich aber auch in diesem Fall, zunächst die Relativkostenzahl  $k_v^*$  zu ermitteln und in VDI 2225 Bl. 2 zu notieren und dann für den Werkstoff Alzen genauso zu rechnen, wie für die übrigen Werkstoffe. Dieses Verfahren hat den Vorteil der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit und den weiteren Vorteil, daß auf diese Weise VDI 2225 Bl. 2 den speziellen Anforderungen und Materialien des jeweiligen Unternehmens angepaßt wird.

Im vorliegenden Fall beträgt der Lieferantenpreis von Alzen  $k_G = 13,33$  DM/kg. Die Dichte von Alzen hat den Wert  $\rho = 4,8$  kg/dm<sup>3</sup>. Der Bezugswert  $k_{v0}$  beträgt  $k_{v0} = 8 \cdot 10^{-3}$  DM/cm<sup>3</sup>  $\cong 8$  DM/dm<sup>3</sup>.

Damit ergibt sich die Relativkostenzahl  $k_v^*$  von Alzen zu

$$k_v^* = k_G \cdot \frac{\rho}{k_{v0}}$$

$$k_v^* = 13,33 \text{ DM/kg} \cdot \frac{4,8 \text{ kg/dm}^3}{8 \text{ DM/dm}^3} = 8$$

### 2.3.4 Schlußfolgerungen

Aus der Materialkostenermittlung ist zu ersehen, wo Kostenschwerpunkte (= wirtschaftliche Schwachstellen) liegen. In diesem Beispiel sind es die Teile 11 (Gehäuse) und 23 (Umlaufgehäuse), bei den Zulieferern vor allem die große Anzahl an Kugel- bzw. Nadellagern. Aber auch das Handrad stellt (als Zulieferteil) einen Kostenschwerpunkt dar. Um eine wesentliche Senkung der Materialkosten zu erreichen, sind vor allem an diesen Teilen Änderungen konstruktiver Art oder Bemühungen des Einkaufs um größere Rabatte oder kleinere Preise nötig. Diese Konsequenzen werden ohne diese tabellarische Zusammenstellung der Materialkosten wegen des dann fehlenden Überblicks oft nicht gezogen.

Die Materialkostenermittlung leistet demnach in der dargestellten Form einen zusätzlichen wertvollen Dienst.

### 2.3.5 Ermittlung der Herstellkosten

Die Materialkosten betragen DM 242,85. Der Materialkostenanteil  $M'$  ist in dem betreffenden Unternehmen für die Erzeugnisgruppe „Sondergetriebe“ bekannt zu

$$M' = 0,41 (\cong 41\%)$$

Für die zu erwartenden Herstellkosten  $H$  ergibt sich nach Abschnitt 2.2:

$$H = M / M'$$

$$H = 242,85 \text{ DM} / 0,41$$

$$H = 592,32 \text{ DM}$$

Wird dieses Ergebnis der vereinfachten Kostenermittlung später mit dem Ergebnis der üblichen, genaueren Kalkulation verglichen, ist natürlich keine vollständige Übereinstimmung zu erwarten, sondern es muß immer mit einer größeren oder kleineren Abweichung gerechnet werden. Eine Abweichung von  $\pm 10\%$  kann als gutes Ergebnis betrachtet werden. Auch eine Abweichung von  $\pm 20\%$  ist noch hinzunehmen; gibt es in der Praxis doch Fälle, wo die Ergebnisse der üblichen, genaueren Vorkalkulation bis zu etwa diesem Betrag voneinander abweichen je nachdem, welcher Kalkulator die Kalkulation durchgeführt hat.

## 3 Vereinfachte Ermittlung weiterer Kostengrößen

In der Regel genügt die Ermittlung der Herstellkosten  $H$  zur Beurteilung und Verbesserung von Entwürfen und Konstruktionen. In Einzelfällen werden jedoch auch andere Kosten von Bedeutung, deren Ermittlung im folgenden behandelt wird.

### 3.1 Ermittlung der Selbstkosten

Die Selbstkosten  $S$  ergeben sich durch Multiplikation der Herstellkosten  $H$  mit einem Faktor  $\alpha$ . Rechnerisch formuliert:

$$S = \alpha \cdot H \quad (3.01)$$

Den Zahlenwert des Faktors  $\alpha$  kann bei der Kalkulationsabteilung eines Unternehmens erfragt werden.

### 3.2 Ermittlung des Richtpreises

Der Preis, den ein Unternehmen mit einem Produkt erzielen müßte, um auf seine Kosten zu kommen, steht in einem festen Verhältnis zu den Selbstkosten  $S$ . Dieser „Wunschpreis“, die sogenannte „Zielpreisforderung  $P$ “, läßt sich angeben als Produkt aus den Herstellkosten  $H$  und einem Zuschlagsfaktor  $\beta$ , der



bei der Kalkulationsabteilung des Unternehmens erfragt werden kann. Rechnerisch formuliert:

$$P = \beta \cdot H \quad (3.02)$$

Der tatsächlich erzielbare Verkaufspreis  $P_M$  hängt von den Marktverhältnissen ab. Wenn das Produkt zu einem Verkaufspreis  $P_M$  verkauft werden kann, der über dem Richtpreis oder der Zielpreisforderung  $P$  liegt, wird der Gewinn größer als kalkuliert. Wenn das Produkt billiger verkauft werden muß, entsteht ein geringerer Gewinn oder ein Verlust.

### 3.3 Ermittlung der Produkt-Gesamtkosten

Der Benutzer eines technischen Produktes ist nicht allein am Einkaufs-Preis des Produktes interessiert, sondern an den gesamten Kosten, die durch dieses Produkt entstehen. Dazu gehören neben dem Einkaufs-Preis vor allem die Kosten für Betrieb, Wartung und Reparaturen. Meistens wird nicht nach den Gesamtkosten während der gesamten Lebensdauer des Produktes, den sogenannten „Life-Cycle-Costs“ gefragt, sondern nach den Gesamtkosten, die durchschnittlich pro Jahr anfallen. Diese Produkt-Gesamtkosten pro Jahr setzen sich zusammen aus den Betriebskosten und den Kapitalkosten, die folgendermaßen ermittelt werden:

Der Anschaffungspreis, über z.B. fünf oder zehn Jahre abgeschrieben und verzinst, ergibt die jährlichen Kapitalkosten, die bei der Kalkulationsabteilung oder der Finanzbuchhaltung erfragt werden können. In manchen Unternehmen ist es üblich, die Kosten für Betrieb und Wartung des Produktes durch Zuschlagsfaktoren zu berücksichtigen, mit denen der Abschreibungsbetrag multipliziert wird.

Wenn dieses Verfahren im Unternehmen nicht üblich ist, muß versucht werden, die wesentlichen Anteile der Betriebskosten einzeln zu ermitteln: Die Energiekosten lassen sich rechnerisch abschätzen; die Kosten für Miete, Heizung, Beleuchtung können bei der Buchhaltung erfragt werden. Bei den Kosten der Wartung kann von einer Schätzung des erforderlichen Aufwandes an Arbeitszeit und Material ausgegangen werden oder von einem festen Zuschlagsfaktor auf den Preis der Maschine, der für viele Maschinenarten bekannt ist und bei der Kalkulationsabteilung erfragt werden kann.

Der Konstrukteur sollte wegen des erheblichen Aufwandes jedoch nicht versuchen, die zu erwartenden Produkt-Gesamtkosten von vornherein genau zu ermitteln. Es genügt vielmehr, sich darüber zu orientieren, aus welchen wichtigsten Anteilen sich die Produkt-Gesamtkosten zusammensetzen, um dann zu versuchen, den einen oder anderen Anteil zu senken.

## 4 Grundbegriffe der Kostenrechnung; die Zuschlagskalkulation

Die vereinfachten Verfahren zur Ermittlung der Materialkosten und der Herstellkosten (Abschnitt 2), die der Konstrukteur am häufigsten benötigt, und der übrigen Kosten (Abschnitt 3), die seltener von Interesse für ihn sind, entstanden durch Vereinfachung üblicher, aufwendigerer und genauerer Verfahren zur Kostenermittlung. Anhand der Beschreibung eines dieser allgemeinen Verfahren, der Zuschlagskalkulation, werden in diesem Abschnitt die wichtigsten Kostenarten behandelt. In Bild 6 sind diese Kostenarten zusammengestellt.

Bruttowerkstoffkosten	$W_b$	
Werkstoffgemeinkosten	$+ G_w$	
Zulieferungskosten	$+ Z$	
Zulieferungsgemeinkosten	$+ G_z$	
Materialkosten	$\underline{M}$	$M$
Fertigungslohnkosten	$L$	
Fertigungsgemeinkosten	$+ G$	
Fertigungskosten	$\underline{F}$	$+ F$
Sondereinzelkosten der Fertigung		$+ E_F$
Herstellkosten	$\underline{H}$	$H$
Entwicklungs-/Konstruktionskosten		$+ G_E$
Verwaltungsgemeinkosten	$G_{vw}$	
Vertriebsgemeinkosten	$+ G_{vt}$	
Verwaltungs-/Vertriebsgemeinkosten	$\underline{G_{vv}}$	$+ G_{vv}$
Sondereinzelkosten Vertrieb		$+ E_v$
Selbstkosten	$\underline{S}$	$S$
Gewinnabhängige Steuern		$+ St$
Kalkulatorischer Gewinn		$+ \Delta_K$
Richtpreis		$\underline{P}$

Bild 6. Grundbegriffe der Kostenrechnung

Die Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  sind die Kosten für Werkstoffe, z.B. Profile, Bleche oder Rohgußteile, die (mit oder ohne Bearbeitung) für die Herstellung eines Produktes anfallen. Bei der Ermittlung der Kosten für das Fertigungsmaterial ist das unbearbeitete Halbzeug (Bruttomaterialvolumen  $V_b$ ) zu berücksichtigen (siehe auch [7], Nr. 5.1.1).

Werkstoffgemeinkosten  $G_w$  sind die Kosten für die verschiedenen Aufwendungen, die mit der Bereitstellung des Fertigungsmaterials verbunden sind, also z.B. die Kosten für Bestellung, Transport, Eingangsprüfung, Lagerung, Zinsen usw. (siehe auch [7], Nr. 5.1.2). Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die Werkstoffgemeinkosten  $G_w$  den Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  proportional sind, so daß sie rechnerisch durch einen prozentualen Zuschlag zu den Kosten für das Ferti-

gungsmaterial berücksichtigt werden können. Der entsprechende Zuschlagsfaktor  $g_w$  gibt an, welchen Bruchteil der Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  die Werkstoffgemeinkosten  $G_w$  ausmachen. Rechnerisch gilt:

$$G_w = g_w \cdot W_b \quad (4.01)$$

Der Zuschlagsfaktor  $g_w$  wird im Unternehmen durch ein Umlageverfahren mit Hilfe des sogenannten Betriebsabrechnungsbogens (BAB) ermittelt. Er beträgt in der Regel etwa 0,05 bis 0,15 (5 bis 15%).

Die Zulieferungskosten  $Z$  sind die Kosten für den Einkauf fertiger Teile, sogenannter Zukaufteile oder Zuliefererteile, die ohne weitere Bearbeitung direkt für die Herstellung des Produktes verwendet werden, also z.B. die Kosten für die Beschaffung von Normteilen, Motoren, Getrieben oder Elektronik (siehe hierzu [7], Nr. 3.7.1 und 3.7.2 und [3]).

Die Zulieferungsgemeinkosten  $G_z$  sind die Kosten, die mit der Bereitstellung der Zukaufteile verbunden sind, also z.B. die Kosten für Bestellung, Transport, Eingangsprüfung usw. der Teile. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die Zulieferungsgemeinkosten  $G_z$  den Zulieferungskosten  $Z$  proportional sind. Sie werden rechnerisch durch einen Zuschlagsfaktor  $g_z$  berücksichtigt:

$$G_z = g_z \cdot Z \quad (4.02)$$

Der Zuschlagsfaktor  $g_z$  wird ebenfalls mit Hilfe des Betriebsabrechnungsbogens ermittelt. Er beträgt in der Regel etwa 0,05 bis 0,2 (5 bis 20%).

Die Materialkosten  $M$  sind die Summe von Bruttowerkstoffkosten  $W_b$ , Werkstoffgemeinkosten  $G_w$ , Zulieferkosten  $Z$  und Zulieferungsgemeinkosten  $G_z$ , rechnerisch formuliert (vgl. Abschnitt 5.4.6):

$$M = W_b + G_w + Z + G_z \quad (4.03)$$

Zur Vereinfachung der Rechnung können die Zulieferkosten  $Z$  wie Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  behandelt werden. Gleichung (4.03) verkürzt sich dann (vgl. Abschnitt 2.1 und 5.4.6) zu:

$$M = W_b + G_w \quad (4.04)$$

Die Fertigungslohnkosten  $L$  sind die Kosten, die für die Arbeiten direkt am Produkt anfallen, also z.B. für die Bearbeitung der Einzelteile oder die Montage des Gerätes (siehe auch [7], Nr. 5.2.1 und [3]).

Die Fertigungsgemeinkosten  $G$  sind zusätzliche Kosten, die bei der Fertigung anfallen, sich aber nicht direkt einem Produkt zuordnen lassen. Dazu gehören z.B. die Kosten für die Miete, Heizung, Instandhaltung der Werkstatt, für die Abschreibung der Maschinen, für Werkzeuge, für Energie, für Hilfsstoffe wie Schmieröl oder Reinigungsmittel usw. (siehe auch [7], Nr. 5.2.2). Bei der Zuschlagskalkulation

wird von der Annahme ausgegangen, daß die Fertigungsgemeinkosten  $G$  den Fertigungslohnkosten  $L$  proportional sind, sie werden durch einen Zuschlagsfaktor  $g$  berücksichtigt:

$$G = g \cdot L \quad (4.05)$$

Der Zuschlagsfaktor  $g$  wird im Unternehmen mit Hilfe des Betriebsabrechnungsbogens ermittelt. Er beträgt je nach Art der Fertigung größenordnungsmäßig etwa zwischen zwanzig oder mehreren hundert Prozent. Je größer dieser Zuschlagsfaktor ist, desto sorgfältiger sollte er in der Betriebsabrechnung im Interesse einer realistischen Kalkulation ermittelt werden.

Die Fertigungskosten  $F$  sind die Summe von Fertigungslohnkosten  $L$  und Fertigungsgemeinkosten  $G$ , rechnerisch formuliert:

$$F = L + G \quad (4.06)$$

(siehe auch [7], Nr. 5.2 und [3]).

Sondereinzelkosten der Fertigung  $E_F$  sind Kosten, die ausschließlich von einem einzigen Produkt verursacht werden. Sie fallen z.B. an bei der Beschaffung eines speziellen Werkzeuges oder Meßgerätes, das nur für die Fertigung dieses speziellen Produktes benötigt wird und dann voraussichtlich nie wieder verwendet werden kann. Wenn dabei erhebliche Kosten entstehen, empfiehlt es sich, bei der Kalkulation derartige Kosten  $E_F$  direkt dem betreffenden Produkt zuzurechnen (und sie nicht mit Hilfe von Betriebsabrechnungsbogen und Zuschlagsfaktor  $g$  auf alle, auch die nichtbetroffenen, Produkte umzulegen). (Siehe auch [7], Nr. 5.2.3 und [3]).

Die Herstellkosten  $H$  sind die Summe von Materialkosten  $M$ , Fertigungskosten  $F$  und Sondereinzelkosten der Fertigung  $E_F$  rechnerisch formuliert:

$$H = M + F + E_F \quad (4.07)$$

Die Entwicklungs- und Konstruktionskosten  $G_E$  sind die Kosten, die für Gehälter, Miete, Materialverbrauch usw. in den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen entstehen. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die Entwicklungs- und Konstruktionskosten  $G_E$  den Herstellkosten  $H$  proportional sind. Sie werden rechnerisch durch einen Zuschlagsfaktor  $g_E$  berücksichtigt:

$$G_E = g_E \cdot H \quad (4.08)$$

(siehe auch [7], Nr. 5.10, [3] und Abschnitt 5.1).

Der Zuschlagsfaktor  $g_E$  wird im Betrieb mit Hilfe des Betriebsabrechnungsbogens ermittelt. Er liegt größenordnungsmäßig zwischen 0,05 und 1,0 (5 und 100%).

Die Verwaltungsgemeinkosten  $G_{vw}$  sind die Kosten, die für Gehälter, Miete, Heizung usw. in der Verwaltung des Unternehmens entstehen. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die Verwaltungsgemeinkosten  $G_{vw}$  den Herstellkosten  $H$  proportional sind. Sie werden rechnerisch durch einen Zuschlagsfaktor  $g_{vw}$  berücksichtigt:

$$G_{vw} = g_{vw} \cdot H \quad (4.09)$$

(siehe auch [7], Nr. 5.4 und [3]).

Der Zuschlagsfaktor  $g_{vw}$  wird im Betrieb mit Hilfe des Betriebsabrechnungsbogens ermittelt. Er liegt größenordnungsmäßig zwischen 0,05 und 0,25 (5 und 25%).

Die Vertriebsgemeinkosten  $G_{vt}$  sind die Kosten, die für Gehälter, Spesen, Mieten, Porto usw. in der Vertriebsabteilung des Unternehmens anfallen. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die Vertriebsgemeinkosten  $G_{vt}$  den Herstellkosten  $H$  proportional sind. Sie werden rechnerisch durch einen Zuschlagsfaktor  $g_{vt}$  berücksichtigt:

$$G_{vt} = g_{vt} \cdot H \quad (4.10)$$

(siehe auch [7], Nr. 5.5 und [3]).

Der Zuschlagsfaktor  $g_{vt}$  wird im Betrieb mit Hilfe des Betriebsabrechnungsbogens ermittelt. Er liegt größenordnungsmäßig zwischen 0,05 und 0,2 (5 und 20%).

Sondereinzelkosten des Vertriebes  $E_v$  sind Vertriebskosten, die ausschließlich durch den Vertrieb eines bestimmten Produktes verursacht werden. Wenn dabei erhebliche Kosten anfallen, empfiehlt es sich, bei der Kalkulation derartige Kosten direkt dem betreffenden Produkt zuzurechnen (und sie nicht, mit Hilfe von Betriebsabrechnungsbogen und Zuschlagsfaktor  $g_{vt}$  auf alle, auch die nichtbetroffenen Produkte umzulegen). (Siehe auch [7], Nr. 5.6 und [3].)

Die Selbstkosten  $S$  sind die Summe von Herstellkosten  $H$ , Entwicklungs- und Konstruktionskosten  $G_E$ , Verwaltungsgemeinkosten  $G_{vw}$ , Vertriebsgemeinkosten  $G_{vt}$  und Sondereinzelkosten des Vertriebes  $E_v$ . Rechnerisch formuliert:

$$S = H + G_E + G_{vw} + G_{vt} + E_v \quad (4.11)$$

(siehe auch [7], Nr. 5.7 und [3]).

Der kalkulatorische Gewinn  $\Delta_K$  ist der Gewinn, den ein Unternehmen erzielen müßte, um eine angemessene Verzinsung des Betriebskapitals zu erreichen. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß der kalkulatorische Gewinn  $\Delta_K$  den Selbstkosten  $S$  proportional ist. Rechnerisch

wird der kalkulatorische Gewinn durch einen Zuschlagsfaktor  $g_G$  ermittelt:

$$\Delta_K = g_G \cdot S \quad (4.12)$$

Die Größe des Zuschlagsfaktors  $g_G$  wird aus dem Kapital und dem Gesamtumsatz des Unternehmens ermittelt. Wenn der Umsatz doppelt so groß ist, wie das Kapital und wenn eine Kapitalverzinsung von 10% angestrebt wird, dann beträgt der Faktor  $g_G$  etwa 0,05 (5%).

Die gewinnabhängigen Steuern  $St$  sind derjenige Anteil der verschiedenen Steuern, die ein Unternehmen zu bezahlen hat, der nur dann anfällt, wenn das Unternehmen einen Gewinn erzielt. Die Höhe der Steuern wird durch die Steuergesetzgebung festgelegt. Bei der Zuschlagskalkulation wird von der Annahme ausgegangen, daß die gewinnabhängigen Steuern  $St$  dem kalkulatorischen Gewinn und damit den Selbstkosten proportional sind. Der Faktor  $g_s$  für die gewinnabhängigen Steuern ist von derselben Größenordnung, wie der Faktor  $g_G$  für den kalkulatorischen Gewinn:

$$St = g_s \cdot S \quad (4.13)$$

Der Richtpreis  $P$  ist die Summe von Selbstkosten  $S$ , kalkulatorischem Gewinn  $\Delta_K$  und gewinnabhängigen Steuern  $St$ . Rechnerisch formuliert:

$$P = S + \Delta_K + St \quad (4.14)$$

In diesem Abschnitt 4 wurden die wichtigsten Begriffe der Kostenrechnung kurz behandelt. Eine ausführlichere Behandlung findet sich in verschiedenen Veröffentlichungen, die im Schrifttum dieser Richtlinie aufgeführt sind und insbesondere in der Richtlinie VDI 2234 [3].

## 5 Vereinfachung der Zuschlagskalkulation zur vereinfachten Kostenermittlung

### 5.1 Bedeutung und Zuverlässigkeit verschiedener Kennziffern

Zur exakten Kostenermittlung für ein Produkt müßten alle in Bild 6 aufgeführten Kostenanteile einzeln sorgfältig für sich ermittelt werden. Der Aufwand dafür würde sich verringern, wenn verschiedene Kostenarten zueinander proportional wären: es müßte dann nur noch ein Anteil exakt ermittelt werden und mit Hilfe von Proportionalitätsfaktoren ließe sich sofort der zweite oder auch ein dritter Anteil ausrechnen.

Ebensoviel Aufwand wird gespart, wenn angenommen werden kann, daß die Kostenanteile nur ungefähr proportional sind, deshalb mit einem festen Pro-

portionalitätsfaktor gerechnet wird und die Fehler infolge der Abweichungen in Kauf genommen werden. Dieses Verfahren wird bereits bei der in Abschnitt 4 beschriebenen Zuschlagskalkulation angewendet: Mit Hilfe des sogenannten Betriebsabrechnungsbogens werden für ein Geschäftsjahr die Fertigungsgemeinkosten  $G$  und die Fertigungslohnkosten  $L$  sowie der Quotient  $G/L = g$  ermittelt. Der Zahlenwert dieses Zuschlagsfaktors  $g$  wird im nächsten Geschäftsjahr verwendet, um jeweils aus den Fertigungslohnkosten  $L$  die Fertigungsgemeinkosten  $G = g \cdot L$  zu berechnen. Daß in Wirklichkeit nicht für jedes Produkt und zu jeder Zeit derselbe Faktor  $g$  gilt, führt zu Ungenauigkeiten bei der Kalkulation, die aber im Interesse des geringeren Aufwandes für die Kalkulation in Kauf genommen werden.

Dieses Verfahren kann verbessert werden: Am ungeauertesten dürfte die Kalkulation ausfallen, wenn für das ganze Unternehmen ein einziger Zuschlagsfaktor  $g$  verwendet wird; genauer wird das Verfahren, wenn für jede „Fertigungsstelle“, d.h. z.B. für jede Werkstatt ein spezieller Zuschlagsfaktor  $g$  ermittelt wird. Am genauesten wird das Kalkulationsverfahren, wenn die sogenannte „Platzkostenkalkulation“ eingeführt wird, die von den hier behandelten Kalkulationsverfahren am aufwendigsten, aber auch am genauesten ist, weil davon ausgegangen werden kann, daß das Verhältnis von Fertigungsgemeinkosten zu Fertigungslohnkosten wenigstens für einen bestimmten Arbeitsplatz nahezu konstant bleibt.

Eine ähnliche Überlegung ist überall anzustellen, wo mit festen Zuschlagssätzen gerechnet wird. Ein fester Zuschlagssatz z.B. bezüglich der Konstruktions- und Entwicklungskosten bedeutet, daß diese Kosten abweichend von den tatsächlichen Verhältnissen auf alle Produkte und Aufträge gleichmäßig verteilt werden, wodurch eine Über- bzw. Unterdeckung dieser Kosten entsteht. In der Richtlinie VDI 2234 [3] wird ein Verfahren zur besseren Zuordnung von Kosten und Aufträgen vorgeschlagen.

Für die Anwendung in der Konstruktion ist das in Abschnitt 4 geschilderte Verfahren der Zuschlagskalkulation zu aufwendig. Soll der Aufwand weiter verringert werden, so sind weitere Kostenarten oder Kostenanteile zu suchen, die exakt oder wenigstens angenähert zueinander proportional sind.

Viele Kostenanteile hängen mehr oder weniger voneinander ab, manche sind substituierbar, fast alle hängen irgendwie von der allgemeinen Wirtschaftslage ab. Es ist also theoretisch zu erwarten, daß die Verhältniswerte der Kostenanteile wesentlich weniger schwanken, als die Kostenanteile selber und daß bei geeigneter Wahl der Kostenanteile mit konstan-

ten Verhältniszahlen gerechnet werden kann, ohne einen allzu großen Fehler zu machen.

Die Erfahrung bestätigt diese Vermutungen häufig:

Bei Betrachtung des Verhältnisses der Kosten bestimmter Werkstoffe zu den Kosten eines Bezugswerkstoffes über einige Jahre hinweg, Bild 7 und 8, stellt sich heraus, daß die Relativwerte wesentlich weniger schwanken, als die Absolutwerte und die Durchschnittswerte (über zehn Jahre) der Relativwerte noch weniger. Es kann also so gerechnet werden, als seien die Relativwerte konstant, in der Erwartung, daß sich die in Bild 8 dargestellte Tendenz fortsetzt, so daß durch diese vereinfachende Annahme kein zu großer Fehler in Kauf genommen werden muß.

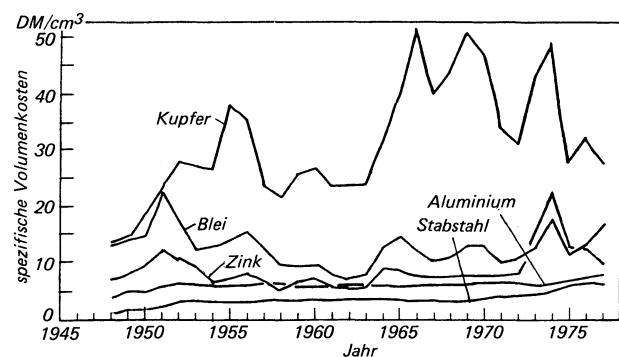


Bild 7. Werkstoffkosten (Erzeugerpreise) verschiedener Metalle (Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland)

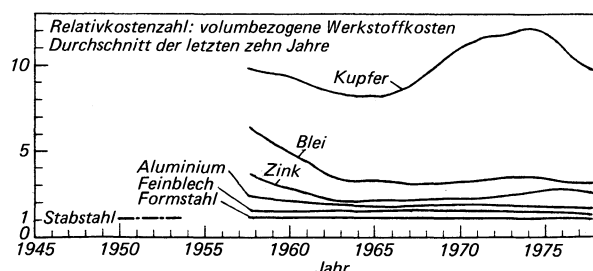


Bild 8. Werkstoffkosten (Erzeugerpreise) verschiedener Metalle und Metallhalbzeuge (Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland)

Wird für eine bestimmte Erzeugnisgruppe das Verhältnis von Material- und Zulieferkosten zum Gesamtpreis verfolgt, Bild 9, stellt sich heraus, daß dieses Verhältnis über Jahrzehnte nahezu konstant bleibt. Auch bei anderen Erzeugnisgruppen ändert sich das Verhältnis von Materialkosten zu Fertigungskosten oder zu Herstellkosten über Jahre kaum, so daß also etwa das Verhältnis  $M'$  von Materialkosten  $M$  zu Herstellkosten  $H$  nahezu konstant bleibt oder mit anderen Worten, daß die „Kostenstruktur“ einer bestimmten Erzeugnisgruppe (vgl. Abschnitt 5.3.1) jahrelang nahezu konstant bleibt. Das aber ist die Voraussetzung für eine ganz erhebliche Vereinfachung der Kalkulationsarbeit: Es werden nur noch die Materialkosten  $M$  ermittelt und

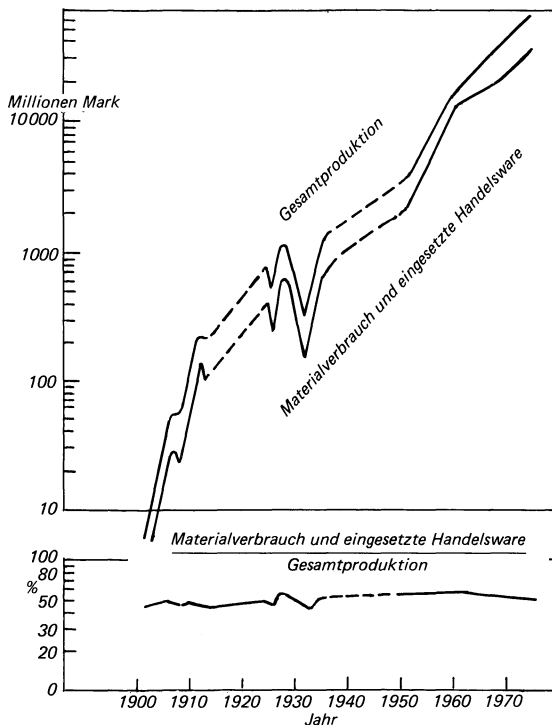


Bild 9. Jährliche Gesamtproduktion, Materialverbrauch, eingesetzte Handelsware in der deutschen Fahrzeugindustrie. (Statistisches Jahrbuch Deutsches Reich / Bundesrepublik)

mit Hilfe des bekannten und (nahezu) konstanten Zahlenwertes des Materialkostenanteiles  $M'$  direkt auf die Herstellkosten geschlossen:

$$H = M/M' \quad (5.01)$$

Das in Abschnitt 2 beschriebene vereinfachte Verfahren zur Kostenermittlung beruht im wesentlichen auf drei Voraussetzungen:

- Die einzelnen Gemeinkostenzuschlagsfaktoren sind (nahezu) konstant (z.B.  $G/L = g \approx \text{const}$ ).
- Die Relativkosten-Zahlen für einen bestimmten Werkstoff sind (nahezu) konstant (z.B.  $k_{v1}/k_{v0} = k_{v1}^* \approx \text{const}$ ).
- Die Kennwerte der Kostenstruktur für eine bestimmte Erzeugnisgruppe sind (nahezu) konstant (z.B.  $M/H = M' \approx \text{const}$ ).

Die Statistik zeigt, daß in der Vergangenheit diese Voraussetzungen weitgehend erfüllt wurden; ein vereinfachtes Verfahren der Kostenermittlung, das auf diesen Voraussetzungen aufbaut, war also ohne allzu großen Fehler möglich. Es gibt zwar keine absolute Sicherheit, wohl aber eine große Wahrscheinlichkeit, daß die Voraussetzungen auch in Zukunft weitgehend erfüllt sein werden.

Im folgenden wird behandelt, wie die einzelnen relativen Zahlenwerte, die für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens zur Kostenermittlung benötigt werden, zu ermitteln sind und wie abgeschätzt werden kann, ob und wie zuverlässig diese Zahlenwerte im Einzelfall sind.

## 5.2 Volumenbezogene Werkstoffkosten und Relativkosten-Zahlen

### 5.2.1 Begründung der vereinfachten Ermittlung der Materialkosten

Sollen die Bruttowerkstoffkosten  $W_b$  für ein bestimmtes Einzelteil genau ermittelt werden, so wäre folgendermaßen vorzugehen: Zunächst ist das Bruttomaterialvolumen  $V_b$  zu ermitteln und mit den volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_v$  des entsprechenden Werkstoffes zu multiplizieren. Rechnerisch formuliert z.B. für das Teil (und den Werkstoff) Nr. 5:

$$W_{b5} = V_{b5} \cdot k_{v5} \quad (5.02)$$

Es ist also für jedes Teil das Bruttomaterialvolumen  $V_b$  zu bestimmen – das ist möglich, wenn eine maßstäbliche Skizze vorliegt, aus der die Abmessungen des Teiles zu entnehmen sind – und es ist für jeden verwendeten Werkstoff der momentan gültige Zahlenwert für die volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_v$  zu ermitteln – und das ist dem Konstrukteur praktisch nur schwer möglich.

Der Konstrukteur kann das Verfahren jedoch durchführen, wenn statt mit den volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_v$  mit den Relativkostenzahlen  $k_v^*$  gerechnet wird, die folgendermaßen definiert sind:

$$k_v = k_v^* \cdot k_{v0} \quad (5.03)$$

$$k_v^* = k_v / k_{v0} \quad (5.04)$$

Dabei sind  $k_{v0}$  die volumenbezogenen Werkstoffkosten des Bezugsmaterials.

Dadurch wird das Verfahren zur Ermittlung der Materialkosten ganz wesentlich vereinfacht, denn der Konstrukteur benötigt jetzt nur noch einen einzigen absoluten Zahlenwert, nämlich die volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_{v0}$  des Bezugsmaterials und im übrigen nur noch die nahezu konstanten Relativkostenzahlen  $k_v^*$ .

Alle diese Zahlenwerte kann der Konstrukteur im Normalfall der Richtlinie VDI 2225 Bl. 2 entnehmen und im Sonderfall auch selber ermitteln, wenn nicht ein für alle Mal so doch für lange Zeit.

### 5.2.2 Ermittlung von Relativkosten-Zahlen

Zunächst werden die volumenbezogenen Werkstoffkosten des Bezugsmaterials ermittelt. Im Interesse der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit wird als Bezugswert  $k_{v0}$  festgelegt:

Die Kosten  $k_{v0}$  sind die volumenbezogenen Werkstoffkosten in DM/cm<sup>3</sup> des Bezugsmaterials: Warmgewalzter Rundstahl von 35 bis 100 mm Ø, U St 37-2, DIN 17100, Maßnorm DIN 1013, bei Lieferung von 1000 kg ab Werk.

Da üblicherweise nur die gewichtsbezogenen Werkstoffkosten  $k_{G0}$  des Bezugsmaterials in DM/kg bekannt sind, ist umzurechnen:

$$k_{v0} = k_{G0} \cdot \rho_0 \quad (5.05)$$

mit der spezifischen Dichte  $\rho_0$  des Bezugsmaterials.

Der Zahlenwert der Dichte  $\rho_0$  des Bezugsmaterials beträgt  $7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Wenn die gewichtsbezogenen Werkstoffkosten  $k_{G0}$  z.B. 1,02 DM/kg betragen, errechnet sich damit der Wert von  $k_{v0}$ :

$$\begin{aligned} k_{v0} &= k_{G0} \cdot \rho_0 \\ k_{v0} &= 1,02 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3 \\ k_{v0} &= 8 \cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3 \end{aligned}$$

Analog wird für einen beliebigen Werkstoff der Wert der volumenbezogenen Werkstoffkosten ermittelt zu

$$k_v = k_G \cdot \rho \quad (5.06)$$

und daraus die Relativkosten-Zahl

$$k_v^* = k_v / k_{v0} \quad (5.07)$$

(siehe auch DIN 32992, Teil 3, Gleichung 8).

Die Relativkosten-Zahlen  $k_v^*$  der etwa 800 wichtigsten Arten von Halbzeugen und Gußteilen sind in VDI 2225 Bl. 2 tabellarisiert und können dort unmittelbar entnommen werden. Diese Zahlen ermöglichen u.a. auch einen Werkstoffvergleich nicht nur nach technischen, sondern auch nach Kostengesichtspunkten (Beispiel in Bild 10).

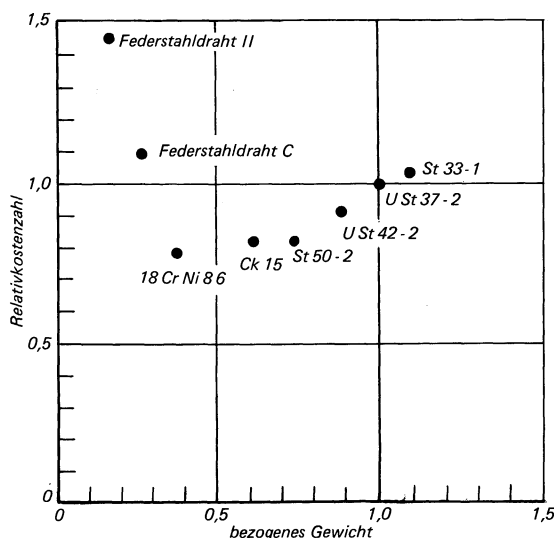


Bild 10. Zylindrische Zugstäbe bei gleicher Belastung; Kosten und Gewicht verschiedener Stahlsorten bezogen auf Kosten und Gewicht von U St 37-2

Wenn ein Werkstoff nicht in den Tabellen von Blatt 2 dieser Richtlinie enthalten ist, kann die Relativkosten-Zahl  $k_v^*$  dieses Werkstoffes nach den Gleichungen (5.06) und (5.07) leicht ermittelt und in der Richtlinie nachgetragen werden (vgl. auch Abschnitt 2.3).

### 5.3 Bedeutung und Ermittlung von Kostenstruktur und Materialkosten

#### 5.3.1 Die Bedeutung der Kostenstruktur

In den meisten Unternehmen beschäftigt sich eine Gruppe der Konstruktion mit Produkten, die in ihrem funktionellen Aufbau viele Ähnlichkeiten aufweisen und die sich auch hinsichtlich Beanspruchung und Material ähnlich sind und auch hinsichtlich Aufwand und Genauigkeit der Fertigung.

Es ist nicht zu erwarten, daß die Herstellkosten dieser verschiedenen konstruierten Produkte gleich sind. Es stellt sich aber häufig heraus, daß die prozentuale Zusammensetzung der Herstellkosten aus den Materialkosten, Lohnkosten und Fertigungsgemeinkosten bei den verschiedenen Produkten nahezu gleich sind. Diese Zusammensetzung der Herstellkosten wird „Kostenstruktur“ (genauer müßte es heißen: Herstellkosten-Struktur) des betreffenden Produktes genannt.

Wenn verschiedene ähnliche Produkte die gleiche Kostenstruktur haben, gehören sie zur selben Erzeugnisgruppe. (Genauer: Erzeugnisgruppe bezüglich der Kostenstruktur). Wenn von einem weiteren Produkt angenommen werden kann, daß es zur selben Erzeugnisgruppe gehört, ist auch zu erwarten, daß es dieselbe Kostenstruktur aufweist.

Die Kenntnis der Kostenstrukturen der in der Regel relativ wenigen Erzeugnisgruppen eines Unternehmens ist von großer praktischer Bedeutung: Wenn das Unternehmen einmal die Kostenstrukturen ermittelt hat, wird dadurch die Kostenschätzung sehr erleichtert und es wird möglich, die Herstellkosten einfach und näherungsweise aus einem einzigen Kostenanteil, den Materialkosten  $M$  zu ermitteln.

Jedes Unternehmen sollte sich bemühen, durch eine sorgfältige Nachkalkulation möglichst genau festzustellen, welche Material-, Lohn- und Fertigungsgemeinkosten für die einzelnen Produkte tatsächlich angefallen sind. Je ähnlicher die Produkte in bezug auf ihren strukturellen Aufbau und die Art der Fertigung sind, desto mehr ähnelt sich auch das Verhältnis zwischen den einzelnen Anteilen, aus denen sich die Herstellkosten zusammensetzen.

Zahlenmäßig wird die Kostenstruktur durch das Verhältnis  $M' : L' : G'$  ausgedrückt mit

$$M' = M/H \quad (5.08)$$

$$L' = L/H \quad (5.09)$$

$$G' = G/H \quad (5.10)$$

$$F' = F/H \quad (5.11)$$

Wenn der Konstrukteur sich mit der Entwicklung und Konstruktion eines Produktes beschäftigt, das

in dieselbe Erzeugnisgruppe gehört, wie andere, bereits gefertigte Produkte des Unternehmens, so kann davon ausgegangen werden, daß die Kostenstruktur auch für das neuentwickelte Produkt dieselbe ist, wie für die bereits gefertigten Produkte der gleichen Erzeugnisgruppe.

Insbesondere ist dann damit zu rechnen, daß das Verhältnis  $M'$  von Materialkosten  $M$  zu Herstellkosten  $H$  dasselbe ist. Dieses Verhältnis  $M'$  wird Materialkostenanteil genannt. Rechnerisch formuliert:

$$M' = M/H \quad (5.12)$$

In diesem Falle kann der Konstrukteur die Herstellkosten  $H$  für das zu konstruierende Produkt schon in einem sehr frühen Entwurfsstadium mit relativ wenig Aufwand ermitteln: Aus der maßstäblichen Skizze werden die Materialkosten  $M$  des Produktes ermittelt und daraus die Herstellkosten  $H = M/M'$  errechnet.

So einfach dieses Verfahren ist, so wichtig ist die Frage, wie der Materialkostenanteil  $M'$  im Einzelfall ermittelt werden kann und wie zuverlässig der ermittelte Wert ist. Diese Fragen werden in den folgenden Abschnitten ausführlich behandelt.

### 5.3.2 Ermittlung von Materialkostenanteil und Kostenstruktur aus Richtlinien

In VDI 2225 Bl. 2 sind für eine Auswahl verschiedener Erzeugnisgruppen die entsprechenden Zahlenwerte des jeweiligen Materialkostenanteiles  $M'$  zusammengestellt. Diese Zahlenwerte stammen aus einer Umfrage bei leitenden Mitarbeitern zahlreicher Unternehmen. Der Vergleich zwischen den Angaben dieser Unternehmen zeigte eine gute Übereinstimmung. Kontrollfragen nach mehreren Jahren zeigten, daß die Zahlenwerte des Materialkostenanteiles  $M'$  nahezu konstant blieben.

Weitere Zahlenwerte lassen sich aus anderen Umfrageergebnissen ermitteln oder aus Veröffentlichungen, wie etwa den Bilanzen der Aktiengesellschaften oder dem Statistischen Jahrbuch für die BRD [14], dem man entnehmen kann, wie sich die Kosten in den einzelnen Branchen zusammensetzen (vgl. dazu etwa Bild 11) oder innerhalb einzelner Bereiche einer Branche, etwa des Maschinenbaus.

Am wenigsten Aufwand bedeutet es für den Konstrukteur, wenn der Wert des Materialkostenanteiles  $M'$  für die interessierende Erzeugnisgruppe aus einem vorhandenen Tabellenwerk ablesbar ist. Meist darf damit gerechnet werden, daß dieser Wert, auch wenn er aus der Befragung fremder Unternehmen stammt, recht genau auch für das eigene Unternehmen gilt.

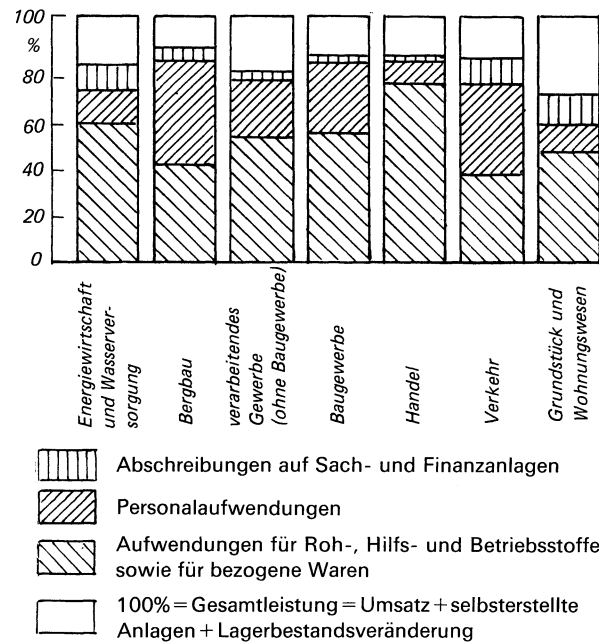


Bild 11. Ausgewählte Aufwandsposten von Aktiengesellschaften 1979 (Statistisches Jahrbuch BRD 1982)

Sobald der Materialkostenanteil  $M'$  bekannt ist, läßt sich der Wert des Fertigungskostenanteiles  $F'$  ermitteln zu

$$F' = 1 - M' \quad (5.13)$$

In der Kalkulationsabteilung wird dann der firmenübliche Wert des Zuschlagsfaktors  $g$  erfragt und damit der Lohnkostenanteil  $L'$  ermittelt zu

$$L' = \frac{F'}{1 + g} \quad (5.14)$$

und schließlich der Fertigungsgemeinkostenanteil  $G'$  zu

$$G' = F' - L' \quad (5.15)$$

Sobald der Materialkostenanteil  $M'$  bekannt ist, der z.B. aus VDI 2225 Bl. 2 entnommen werden kann und zusätzlich der Wert des Gemeinkostenzuschlagsfaktors  $g$ , der in der Kalkulationsabteilung zu erfragen ist, können damit bereits alle Zahlenwerte ermittelt werden, die die Kostenstruktur des betreffenden Produktes charakterisieren.

Beim Zahlenwert des Materialkostenanteiles  $M'$ , der VDI 2225 Bl. 2 entnommen werden kann, handelt es sich um einen Durchschnittswert, der für übliche und durchschnittliche Randbedingungen gilt. In den folgenden Abschnitten werden verschiedene Möglichkeiten behandelt, wie dieser Wert im Einzelfall kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert werden kann.

### 5.3.3 Ermittlung von Materialkostenanteil und Kostenstruktur aus der Nachkalkulation

Zuverlässiger, aber auch aufwendiger ist es, den Zahlenwert des Materialkostenanteiles (und damit die übrigen Zahlenwerte der Kostenstruktur) aus den Kalkulationsunterlagen des eigenen Unternehmens zu ermitteln.

Die Nachkalkulation kann für ein bestimmtes Produkt die einzelnen Kostenanteile und die Kostenstruktur genau liefern. Leider ist das jedoch immer erst dann möglich, wenn das betreffende Produkt konstruiert und gefertigt ist, für den Konstrukteur also zu spät für dieses Mal, aber durchaus von Interesse für das nächste Mal: Der Konstrukteur sollte sich die Kennwerte der Kostenstruktur, insbesondere den Materialkostenanteil  $M'$ , für „seine“ Produktgruppe von der Kalkulationsabteilung beschaffen. Dabei gibt es die Möglichkeit, sich leicht davon zu überzeugen, daß und wie genau der Wert des Materialkostenanteiles  $M'$  innerhalb derselben Erzeugnisgruppe bisher konstant geblieben ist und die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, wie zuverlässig dieser Wert auch für eine Neukonstruktion gelten wird.

Voraussetzung dafür ist stets, daß der Entwurf in dieselbe Erzeugnisgruppe gehört wie die Produkte, für die der Zahlenwert des Materialkostenanteiles  $M'$  ermittelt wurde. Mit einiger Erfahrung kann der Konstrukteur bald selbst beurteilen, in welche bekannte Erzeugnisgruppe ein bestimmtes Produkt fällt. Gelegentlich wird aber die Frage auftauchen, ob ein weiterentwickeltes Produkt genau in eine bestimmte, bekannte Erzeugnisgruppe paßt, für die der Wert  $M'$  modifiziert werden müßte. Wie dabei zweckmäßig vorzugehen ist, wird im folgenden Abschnitt behandelt.

## 5.4 Ermittlung von Materialkostenanteil, Kostenstruktur und Herstellkosten unter Berücksichtigung besonderer Einflußgrößen

### 5.4.1 Vorgehen bei der Weiterentwicklung von Produkten mit bekannter Kostenstruktur zu Produkten mit (zunächst) unbekannter Kostenstruktur

Gelegentlich kommt der Fall vor, daß der Entwurf eines Produktes zu beurteilen ist, für welchen die Kostenstruktur nicht oder nicht zuverlässig bekannt ist. Das kann z.B. dann vorkommen, wenn ein Produkt weiterentwickelt wurde und dabei so entscheidend verändert, daß sich dabei möglicherweise auch die Kostenstruktur, die für das Produkt in der ursprünglichen Version bekannt war, dadurch geändert hat. Im folgenden wird das empfehlenswerte Vorgehen in derartigen Fällen unbekannter oder un-

sicher bekannter Kostenstruktur behandelt. Es ist in jedem Falle zu empfehlen, als Vergleichs- und Ausgangsbasis zunächst die Kostenstruktur und die Material-, Lohn- und Fertigungsgemeinkosten für ein dem zu beurteilenden Entwurf möglichst ähnliches Produkt zu beschaffen. Wenn eine Weiterentwicklung zu beurteilen ist, ist hier auf die bekannte bisherige Ausführung zurückzugreifen. Wenn aus dem eigenen Unternehmen keine Kostenstruktur eines ähnlichen Produktes bekannt ist, kann auf die Angabe von  $M'$ -Werten in VDI 2225 Bl. 2 zurückgegriffen und daraus entsprechend Abschnitt 5.3.2 die Kostenstruktur ermittelt werden.

Das Vergleichsprodukt und die zugehörigen Kostendaten werden in diesem Abschnitt durch den Index 0 gekennzeichnet, das Produkt, für welches die Kostenstruktur gesucht wird, erhält den Index 1.

Für das vorhandene Produkt  $P_0$  liegen die Zahlenwerte für die Materialkosten  $M_0$ , die Lohnkosten  $L_0$  und die Fertigungsgemeinkosten  $G_0$  vor; sei es, daß sie durch Nachkalkulation ermittelt wurden, sei es, daß sie aus Tabellen entnommen wurden. Damit lassen sich auch die Herstellkosten  $H_0$  ermitteln. Zwischen diesen Größen bestehen (vgl. Abschnitt 5.3.2) folgende Beziehungen:

Für den Gemeinkostenfaktor  $g_0$ :

$$g_0 = G_0 / L_0$$

Für die Herstellkosten  $H_0$ :

$$H_0 = M_0 + L_0 + G_0$$

und für den Materialkostenanteil  $M'_0$ :

$$M'_0 = M_0 / H_0.$$

Für das bekannte Produkt  $P_0$  sind also die Herstellkosten  $H_0$  und der Materialkostenanteil  $M'_0$  bekannt.

Sobald die Kostendaten des Vergleichsproduktes zusammengestellt sind, können die Kostendaten des zu beurteilenden Entwurfes ermittelt werden:

Die Materialkosten werden entsprechend Abschnitt 5.2 unter Verwendung der Entwurfszeichnung ermittelt.

Die Lohnkosten müssen geschätzt werden. Eine Schätzung des Betrages der Lohnkosten in DM dürfte dem Konstrukteur (und nicht nur ihm) schwer fallen. Es empfiehlt sich, stattdessen die gesuchten Lohnkosten  $L_1$  durch einen Vergleich mit den bekannten Lohnkosten  $L_0$  zu schätzen: Wenn der Konstrukteur sich mit einem Kollegen aus der Fertigung und einem Kollegen aus der Kalkulationsabteilung beraten hat, wird er zu der einigermaßen sicheren Aussage kommen, daß z.B. die gesuchten Lohnkosten  $L_1$  etwa 110% der bekannten Lohnkosten  $L_0$  betragen. Auf diesem Umweg lassen sich die gesuch-



ten Lohnkosten  $L_1$  dann auch direkt in DM ermitteln.

Schließlich erfolgt die Ermittlung der Fertigungsgemeinkosten  $G_1$  nach Abschnitt 4 zu

$$G_1 = g_1 \cdot L_1$$

Den Zahlenwert von  $g_1$  erhält der Konstrukteur wieder aus der Frage an die Kalkulationsabteilung, ob und wie sich der gesuchte Wert von  $g_1$  vom bekannten Wert  $g_0$  unterscheidet.

Schließlich ergeben sich die gesuchten Herstellkosten  $H_1$  nach Abschnitt 4 zu

$$H_1 = M_1 + L_1 + G_1$$

Wenn die Herstellkosten  $H_1$  ermittelt sind, sollte zusätzlich noch die Kostenstruktur des untersuchten Produktes  $P_1$  festgestellt werden. Das geschieht dadurch, daß entsprechend Abschnitt 4 und 5 der Materialkostenanteil  $M'_1 = M_1/H_1$ , der Lohnkostenanteil  $L'_1 = L_1/H_1$  und der Fertigungsgemeinkostenzuschlag  $g_1 = G_1/L_1$  ermittelt werden.

Damit kann die Kostenstruktur des neuen Produktes  $P_1$  mit der des Vergleichsproduktes  $P_0$  verglichen werden. Hierbei treten drei wesentlich unterschiedliche Fälle auf:

In Bild 12 sind beispielhaft diese drei Fälle zusammengestellt, die auftreten, wenn ein Produkt  $P_0$ , für das die Kostenstruktur durch Nachkalkulation bekannt ist, weiterentwickelt wird zu Produkten  $P_1$ ,  $P_2$  oder  $P_3$ , für welche die Kostenstruktur zunächst nicht unbedingt zuverlässig bekannt ist.

Zunächst wird zu dem Produkt  $P_0$  eine Variante  $P_1$  entwickelt, bei welcher weder am Prinzip noch an der Leistung noch an der Fertigung gegenüber dem Produkt  $P_0$  wesentliche Änderungen vorgenommen werden. Weder der Materialkostenanteil  $M'_1$  noch

der Fertigungsgemeinkosten-Zuschlagsfaktor  $g_1$  ändert sich gegenüber dem ursprünglichen Produkt  $P_0$ . Die Produkte  $P_0$  und  $P_1$  haben dieselbe Kostenstruktur. Anders ausgedrückt: Sie liegen bezüglich der Kostenstruktur in der „gleichen Erzeugnisgruppe“.

Nun wird das Produkt  $P_0$  weiterentwickelt zu einem Produkt  $P_2$ , das sich von  $P_0$  im wesentlichen durch die Leistung und damit durch die Abmessungen unterscheidet. Da die Fertigungsverfahren unverändert bleiben, ändert sich auch der Fertigungsgemeinkosten-Zuschlagsfaktor  $g_2$  nicht gegenüber  $g_0$ . Da jedoch bei der Vergrößerung einer Konstruktion die Materialkosten  $M$  stärker ansteigen, als die Lohnkosten  $L$ , ändert sich beim Übergang von  $P_0$  zu  $P_2$  der Materialkostenanteil  $M'_2$  gegenüber  $M'_0$ . Wenn  $g_0 = g_2$ , aber  $M_0 \neq M_2$  sind, wird von einer „verwandten Erzeugnisgruppe“ gesprochen.

Schließlich wird die Fertigung des ursprünglichen Produktes  $P_0$  dadurch rationalisiert, daß moderne Fertigungsverfahren eingesetzt werden, die die Fertigung stärker automatisieren und dadurch Lohnkosten  $L$  einsparen. Da die modernen Maschinen jedoch teurer sind, als die ursprünglich verwendeten, steigt durch ihren Einsatz der Gemeinkosten-Zuschlagssatz  $g_3$  gegenüber  $g_0$ . Da sich durch die Rationalisierung der Fertigung praktisch nur die Fertigungskosten  $F = L + G$ , nicht aber die Materialkosten  $M$  ändern, ändert sich auch der Materialkostenanteil  $M'_3$  gegenüber  $M'_0$ . Wenn  $g_0 \neq g_3$  (und  $M'_0 \neq M'_3$ ) wird von einer „fremden Erzeugnisgruppe“ gesprochen.

Je ähnlicher sich zwei Produkte hinsichtlich der Kostenstruktur sind, desto einfacher ist es, von den bekannten Kosten des einen Produktes auf die unbekannten Kosten des anderen Produktes zu schließen.

	Ursprüngliches Produkt Produkt $P_0$	Variante dazu Produkt $P_1$	Steigerung der Leistung Produkt $P_2$	Rationalisierung der Fertigung Produkt $P_3$
Materialkosten $M$	$M_0 = 550,- \text{ DM}$	$M_1 = 600,- \text{ DM}$	$M_2 = 800,- \text{ DM}$	$M_3 = 550,- \text{ DM}$
Fertigungs-Lohnkosten $L$	$L_0 = 110,- \text{ DM}$	$L_1 = 120,- \text{ DM}$	$L_2 = 145,- \text{ DM}$	$L_3 = 90,- \text{ DM}$
Fertigungs-Gemeinkosten $G$	$G_0 = 440,- \text{ DM}$	$G_1 = 480,- \text{ DM}$	$G_2 = 580,- \text{ DM}$	$G_3 = 400,- \text{ DM}$
Herstellkosten $H$	$H_0 = 1100,- \text{ DM}$	$H_1 = 1200,- \text{ DM}$	$H_2 = 1525,- \text{ DM}$	$H_3 = 1040,- \text{ DM}$
Materialkosten-Anteil $M'$	$M'_0 = \frac{M_0}{H_0} = 0,5$	$M'_1 = \frac{M_1}{H_1} = 0,5$	$M'_2 = \frac{M_2}{H_2} = 0,52$	$M'_3 = \frac{M_3}{H_3} = 0,53$
Fertigungs-Gemeinkosten-Zuschlagsfaktor $g$	$g_0 = \frac{G_0}{L_0} = 4,0$	$g_1 = \frac{G_1}{L_1} = 4,0$	$g_2 = \frac{G_2}{L_2} = 4,0$	$g_3 = \frac{G_3}{L_3} = 4,44$
Vergleich der neuen mit der ursprünglichen Erzeugnisgruppe von $P_0$	$P_0$ ursprüngliche Erzeugnisgruppe	$P_0 \rightarrow P_1$ gleiche Erzeugnisgruppe	$P_0 \rightarrow P_2$ verwandte Erzeugnisgruppe	$P_0 \rightarrow P_3$ fremde Erzeugnisgruppe

Bild 12. Weiterentwicklung eines Produktes  $P_0$  mit bekannter Kostenstruktur zu Produkten  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  mit (zunächst) unbekannter Kostenstruktur. Schematische Beispiele

### 5.4.2 Kostenstruktur, Herstellkosten und Fertigungsstückzahl

Beim Übergang von einer kleinen Fertigungsstückzahl (Losgröße)  $N_0$  zu einer wesentlich größeren Fertigungsstückzahl  $N_1$  lassen sich häufig rationellere Fertigungsverfahren einsetzen und dadurch die Fertigungskosten  $F$  pro Stück senken.

Diese Kostendegression läßt sich in vielen praktischen Fällen angenähert durch eine Gleichung (9) darstellen etwa von der Form:

$$\frac{F_1}{F_0} \approx \sqrt[3]{\frac{N_0}{N_1}} \quad (5.16)$$

Da sich beim Übergang zu größeren Fertigungsstückzahlen die Materialkosten  $M$  pro Stück praktisch kaum ändern, kann geschrieben werden:

$$M_0 \approx M_1 \quad (5.17)$$

Unter Voraussetzung der Gültigkeit dieser beiden Gleichungen ergibt sich für die Herstellkosten  $H_1$  bei der Stückzahl  $N_1$ :

$$H_1 = M_0 + F_0 \sqrt[3]{\frac{N_0}{N_1}} \quad (5.18)$$

oder mit

$$F_0 = H_0 - M_0 \quad \text{und} \quad H_0 = M_0 / M'_0$$

$$H_1 = M_1 \left[ 1 + \left( \frac{1}{M'_0} - 1 \right) \sqrt[3]{\frac{N_0}{N_1}} \right] \quad (5.19)$$

und daraus für den neuen Materialkostenanteil  $M'_1 = M_1 / H_1$

$$\frac{1}{M'_1} = \frac{1}{M'_0} \left[ M'_0 + (1 - M'_0) \sqrt[3]{\frac{N_0}{N_1}} \right] \quad (5.20)$$

Diese Formel läßt sich z.B. dazu benutzen, um vom bekannten Materialkostenanteil  $M'_0$  eines Produktes, der bei der Fertigungsstückzahl  $N_0$  ermittelt wurde, zu schließen auf die Herstellkosten  $H_1$ , auf den geänderten Materialkostenanteil  $M'_1$  und damit auf die geänderte Kostenstruktur, die sich bei geänderter Fertigungsstückzahl (Losgröße) ergeben wird.

### 5.4.3 Kostenstruktur, Herstellkosten und Baugröße

Es sei der Materialkostenanteil  $M'_0$  (und damit praktisch auch die Kostenstruktur) eines bestimmten Produktes bei einer bestimmten Baugröße (Index 0) bekannt.

Gesucht ist der Materialkostenanteil  $M'_1$  (und damit die entsprechende Kostenstruktur), der sich ergibt, wenn das Produkt geometrisch ähnlich vergrößert wird (Index 1). Die Vergrößerung sei durch das Verhältnis

$$\varphi_L = \frac{l_0}{l_1} \quad (5.21)$$

einer typischen Länge  $l$  in der neuen Ausführung ( $l_1$ ) und der alten Ausführung ( $l_0$ ) dargestellt.

Die Materialkosten der beiden Ausführungen werden sich verhalten wie ihre Bauvolumina oder wie die dritten Potenzen von  $l$ :

$$\frac{M_0}{M_1} \approx \varphi_L^3 \quad (5.22)$$

Häufig läßt sich annehmen, daß die Fertigungskosten im wesentlichen Bearbeitungskosten sind und sich verhalten wie die Oberflächen der beiden Ausführungen oder wie die zweiten Potenzen von  $l$ :

$$\frac{F_0}{F_1} \approx \varphi_L^2 \quad (5.23)$$

Unter Voraussetzung der Gültigkeit dieser beiden Gleichungen ergibt sich für die Herstellkosten  $H_1$  der neuen Ausführung:

$$H_1 = M_0 \varphi_L^3 + \left( \frac{M_1}{M'_0} - M_0 \right) \varphi_L^2 \quad (5.24)$$

und für den Materialkostenanteil  $M'_1$

$$\frac{1}{M'_1} = \frac{1}{M'_0} \cdot \frac{1}{\varphi_L} (1 + \varphi_L M'_0 - M'_0) \quad (5.25)$$

Damit besteht die Möglichkeit, vom Materialkostenanteil  $M'_0$  eines bestimmten Produktes zu schließen auf die Herstellkosten  $H_1$  und auf den Materialkostenanteil  $M'_1$  und damit auf die Kostenstruktur eines geometrisch ähnlich vergrößerten oder verkleinerten Produktes.

### 5.4.4 Herstellkosten und Leistung

In VDI 2225 Bl. 4 wird die sogenannte Bemessungslehre behandelt. Aufgabe der Bemessungslehre ist es, für ein bestimmtes Produkt den Zusammenhang zwischen den wesentlichen technischen Daten und den Kosten formelmäßig in der Bemessungsgleichung darzustellen. Diese Bemessungsgleichung dient in der Regel dazu, um bei gegebener Leistung eines Produktes dessen kostengünstigste Ausführung zu ermitteln.

Die Bemessungslehre und die Bemessungsgleichungen lassen sich in vielen Fällen aber auch dazu verwenden, um den Zusammenhang zwischen der Leistung eines Produktes und seinen Herstellkosten näherungsweise zu ermitteln.

Dieser Zusammenhang läßt sich manchmal auch aus den wesentlichen wirksamen physikalischen Effekten ermitteln [12]. Der Vergleich derartiger Kostenvorhersagen mit den wirklichen Kosten gibt häufig eine gute Übereinstimmung [10].

#### 5.4.5 Kostenstruktur, Herstellkosten und Rationalisierung

Um abzuschätzen, wie sich die Kostenstruktur eines Produktes mit fortschreitender Rationalisierung verändert, sei angenommen, daß sich die Arbeitsproduktivität jedes Jahr um denselben Anteil  $R$  vergrößert, wodurch sich die Fertigungskosten  $F$  um diesen Anteil  $R$  verringern, so daß nach  $n$  Jahren gilt:

$$F_n = F_0 (1 - R)^n \quad (5.26)$$

Weiterhin sei angenommen, daß sich die Materialausnutzung im Laufe der Jahre nicht ändert, so daß gilt:

$$M_n = M_0 \quad (5.27)$$

Unter Voraussetzung der Gültigkeit dieser beiden Gleichungen ergeben sich für die Herstellkosten  $H_n$  nach  $n$  Jahren:

$$H_n = M_0 + \left( \frac{M_0}{M'_0} - M_0 \right) (1 - R)^n \quad (5.28)$$

und für den Materialkostenanteil  $M'_n$

$$\frac{1}{M'_n} = \left( \frac{1}{M'_0} - 1 \right) (1 - R)^n + 1 \quad (5.29)$$

Bei jährlich gleichbleibender Steigerung der Arbeitsproduktivität entsprechend Gleichung (5.26) verändert sich also die Kostenstruktur eines bestimmten Produktes, es ändert sich also auch der Materialkostenanteil  $M'$  entsprechend Gleichung (5.29).

Im statistischen Durchschnitt der Bundesrepublik läßt sich für viele Produkte oder Produktgruppen ein leichter Anstieg des Materialkostenanteiles um größenordnungsmäßig etwa 1% pro Jahr verfolgen (vgl. [14]).

Für die praktische Anwendung bedeutet das, daß Zahlenwerte der Kostenstruktur, die vor vielen Jahren ermittelt wurden, nicht ungeprüft wiederverwendet werden sollten.

#### 5.4.6 Kostenstruktur, Herstellkosten und Zulieferanteil

Ein Produkt  $P_0$ , das fertig konstruiert und kalkuliert ist, für das also Kostenanteile und Kostenstruktur bekannt sind, soll weiterentwickelt werden zu einem Produkt  $P_1$ . Wenn sich beim Produkt  $P_1$  der Anteil  $z_1$  der Zulieferungen an den gesamten Materialkosten  $M$  wesentlich geändert hat gegenüber dem entsprechenden Verhältnis  $z_0$  beim Produkt  $P_0$ , dann entsteht die Frage, ob und wie weit sich dadurch die Kostenstruktur und speziell der Materialkostenanteil ändert. Diese Frage wird im folgenden behandelt.

Zunächst werden einige Begriffe abgeleitet bzw. neu definiert:

Die Bruttowerkstoffkosten des Halbzeuges heißen  $W_{bH}$ . Wenn (nach Abschnitt 2.1)  $W_{bH}$  mit dem Faktor  $(1 + g_w)$  multipliziert wird, ergeben sich die Materialkosten  $M_H$  des Halbzeuges:

$$M_H = W_{bH} (1 + g_w) \quad (5.30)$$

Das Halbzeug muß bearbeitet werden, die gefertigten Teile müssen montiert werden. Dadurch entstehen Fertigungslohnkosten  $L_H$  und Fertigungsgemeinkosten  $G_H$ , die durch das Halbzeug verursacht werden.

Die Summe

$$M_H + L_H + G_H = H_H \quad (5.31)$$

ist derjenige Anteil  $H_H$  der Herstellkosten  $H$ , der allein durch das Halbzeug verursacht wird.

Die Summe der Einkaufspreise  $Z$  multipliziert mit dem Faktor  $(1 + g_z)$  ergibt (nach Abschnitt 2.1) die Materialkosten  $M_Z$  der Zulieferteile:

$$M_Z = Z (1 + g_z) \quad (5.32)$$

Die Zulieferteile müssen montiert werden, dadurch entstehen Fertigungslohnkosten  $L_Z$  und Fertigungsgemeinkosten  $G_Z$ , die durch die Zulieferteile verursacht werden.

Die Summe

$$M_Z + L_Z + G_Z = H_Z \quad (5.33)$$

ist derjenige Anteil  $H_Z$  an den Herstellkosten  $H$ , der allein durch die Zulieferteile verursacht wird.

Die Materialkosten  $M$  für das vollständige Produkt ergeben sich als Summe von  $M_H$  und  $M_Z$ :

$$M = M_H + M_Z \quad (5.34)$$

Der Quotient  $M_Z/M = z$  ist der Anteil der Materialkosten  $M_Z$  der Zulieferungen an den gesamten Materialkosten  $M$ , der sogenannte „Zulieferanteil“. Es gilt:

$$M_Z = z \cdot M \quad (5.35)$$

$$M_H = (1 - z) M \quad (5.36)$$

Der Quotient  $M_H/H_H = M'_H$  ist der relative Materialkostenanteil bedingt durch den Weiterverarbeitungsaufwand für das Halbzeug. Es gilt also auch

$$H_H = M_H / M'_H \quad (5.37)$$

Der Quotient  $M_Z/H_Z = M'_Z$  ist der relative Materialkostenanteil bedingt durch den Weiterverarbeitungsaufwand für das Halbzeug. Es gilt also auch

$$H_Z = M_Z / M'_Z \quad (5.38)$$

Die Herstellkosten für das vollständige Produkt ergeben sich als Summe von  $H_H$  und  $H_Z$ :

$$H = H_H + H_Z \quad (5.39)$$

Der Quotient  $M/H = M'$  ist der Materialkostenanteil für das vollständige Produkt.

Durch Einsetzen der Gleichungen (5.37) und (5.38) in Gleichung (5.39) ergibt sich:

$$H = \frac{M_H}{M'_H} + \frac{M_Z}{M'_Z} \quad (5.40)$$

oder unter Verwendung der Gleichungen (5.35) und (5.36)

$$H = \frac{(1-z)M}{M'_H} + \frac{zM}{M'_Z}$$

oder

$$H = M \left( \frac{1-z}{M'_H} + \frac{z}{M'_Z} \right) \quad (5.41)$$

Gleichung (5.41) kann für die Diskussion und Klärung der Frage herangezogen werden, ob mehr oder weniger Teile selbst gefertigt werden, weniger oder mehr Teile zugekauft werden sollen, um einen möglichst geringen Gesamtwert der Herstellkosten  $H$  zu erreichen.

Aus Gleichung (5.41) kann auch der Zusammenhang zwischen dem Materialkostenanteil  $M' = M/H$  für das vollständige Produkt, dem Materialkostenanteil  $M'_H$  für das Halbzeug und dem Materialkostenanteil  $M'_Z$  für die Zukaufteile abgeleitet werden:

$$\frac{1}{M'} = \frac{1-z}{M'_H} + \frac{z}{M'_Z}$$

oder

$$M' = \frac{M'_H \cdot M'_Z}{(1-z)M'_Z + zM'_H} \quad (5.42)$$

Aus dieser Formel geht hervor, daß auch bei unterschiedlichen Werten von  $M'_H$  und  $M'_Z$  sich der Wert von  $M'$  desto mehr an den Wert von  $M'_H$  annähert, je kleiner der Zulieferanteil  $z$  ist.

Die Erfahrung zeigt, daß in der Regel für  $z \leq 0,2$  ( $\leq 20\%$ ) mit  $M' \approx M'_H$  gerechnet werden kann. Erst bei Werten des Zulieferanteiles  $z > 0,2$ , und bei gleichzeitig stark unterschiedlichen Werten von  $M'_H$  und  $M'_Z$  kann es erforderlich sein, Halbzeuge und Zulieferteile mit ihren jeweiligen Materialkostenanteilen bei der Ermittlung der Herstellkosten  $H$  getrennt zu berücksichtigen.

#### 5.4.7 Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung der Kostenstruktur

Die Kenntnis der einzelnen Kennwerte der Kostenstruktur, insbesondere des Kennwertes  $M'$  der Produkte eines Unternehmens ist von großer Bedeutung für alle Vorhersagen oder Vorherschätzungen von

Kosten und damit für die gesamte Unternehmenspolitik.

Ein Unternehmen sollte deshalb versuchen, nicht nur die Kennwerte für das eigene Unternehmen aus der eigenen Nachkalkulation möglichst genau und zuverlässig zu ermitteln, sondern sollte darüber hinaus auch versuchen, sich über die Kostenstruktur in der gleichen Branche ein möglichst genaues Bild zu machen. Dafür gibt es eine Reihe von mehr oder weniger aussagekräftigen und zuverlässigen Quellen:

Neben den bereits erwähnten Angaben in Richtlinien, Normen und dgl., etwa in VDI 2225 Bl. 2, gibt es Zahlenangaben in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes zum Thema „Kostenstruktur“ sowie in den Veröffentlichungen verschiedener öffentlicher oder verbandseigener Forschungsinstitute. Schließlich können aus Bilanzen, Prospekten und anderen Veröffentlichungen von Konkurrenz-Unternehmen gelegentlich Schlüsse auf deren Kostenstruktur gezogen werden. Die erhaltenen Kennwerte sollten kritisch mit denen des eigenen Unternehmens verglichen werden.

### 5.5 Ermittlung von Fertigungskosten

#### 5.5.1 Die volumenbezogenen Zerspankosten

Die Ermittlung der Materialkosten nach Abschnitt 2 ist für den Konstrukteur mit relativ geringem Aufwand durchzuführen, weil dazu lediglich die aus einer Zeichnung oder Skizze zu entnehmenden Halbzeugabmessungen und die Relativkosten-Zahlen  $k_F^*$  der verwendeten Werkstoffe aus VDI 2225 Bl. 2 benötigt werden.

Es liegt nahe, zu versuchen, ob nicht auch die Fertigungskosten in ähnlicher Weise nur mit Hilfe einer Zeichnung und einiger allgemeingültiger Kennwerte ermittelt werden können.

Genauso, wie zur Ermittlung der Materialkosten des Bruttomaterialvolumen aus der Zeichnung ermittelt wird, könnte aus der Zeichnung entnommen werden, welches Materialvolumen  $V_{sp}$  bei den einzelnen Teilen zu zerspanen ist. Unter der Annahme, daß dieses Zerspanvolumen  $V_{sp}$  den Fertigungskosten  $F$  proportional ist, müßten sich durch Multiplikation des Zerspanvolumens  $V_{sp}$  mit einem geeigneten Faktor  $k_F$  die Fertigungskosten  $F$  errechnen lassen.

So einfach dieses Verfahren ist, so selten ist es leider anwendbar. Das liegt daran, daß einmal die Voraussetzung der Proportionalität häufiger nicht erfüllt ist und zum anderen, daß die benötigten Faktoren  $k_F$  für die „spezifischen Zerspanungskosten“ nur schwer und unzuverlässig zu beschaffen sind, was im folgenden Abschnitt behandelt wird.

### 5.5.2 Ermittlung von volumenbezogenen Zerspankosten

Beim Vergleich des Zerspanvolumens auf Werkzeugmaschinen mit den entstehenden Fertigungskosten ist, wenn sehr viel Material zu zerspannen ist, festzustellen, daß beim Fräsen eine recht gute Proportionalität zwischen Zerspanvolumen  $V_{sp}$  und Fertigungskosten  $F$  besteht. Es kann also ein Faktor  $k_F$  ermittelt werden, der angibt, welche Fertigungskosten  $F$  verursacht werden, wenn die Volumeneinheit, z.B.  $1 \text{ cm}^3$ , Material zerspant wird.

Dieser Faktor gilt aber nur unter verschiedenen Einschränkungen: Er gilt nur für eine bestimmte Fräsmaschine mit einer bestimmten elektrischen Leistung und muß für eine andere Fräsmaschine neu bestimmt werden. Es muß viel Material zerspant werden ohne besondere Oberflächenqualität, und die Rüstzeit muß gegenüber der Bearbeitungszeit vernachlässigt werden dürfen.

Noch schlechter sieht es beim Drehen oder Bohren aus: Im Prinzip besteht natürlich auch hier ein Zusammenhang zwischen Zerspanvolumen und Fertigungskosten, der Zusammenhang wird aber durch den Einfluß der speziellen Maschine, des speziellen Bearbeitungsverfahrens, der Rüstzeit, der geforderten Oberflächengüte usw. leider soweit kompliziert, daß nur noch in Teilbereichen und mit merklichem Fehler mit einem linearen Zusammenhang und damit einem konstanten Zahlenwert der spezifischen Zerspankosten  $k_F$  gerechnet werden kann.

Im Einzelfall, in einem bestimmten Unternehmen und für eine bestimmte Werkzeugmaschine kann es dennoch sinnvoll sein, die Fertigungskosten nach der einfachen Formel

$$F = V_{sp} \cdot k_F \quad (5.43)$$

zu ermitteln, aber es muß sorgfältig geprüft werden, ob dieser Faktor tatsächlich mit hinreichender Genauigkeit als konstant betrachtet werden darf.

### 5.5.3 Ermittlung von Fertigungskosten mit Schätzformeln

Das in Abschnitt 5.4.2 beschriebene Verfahren läßt sich verfeinern: Die Fertigungskosten hängen nicht nur ab vom Zerspanvolumen, vom Brutto- und Nettomaterialvolumen, sondern u.a. auch von den Forderungen an die Oberflächengüte und von den fixen Kosten, etwa für die Rüstzeit und für Sonderwerkzeuge.

Es lassen sich Schätzformeln für die Fertigungskosten ableiten, die etwa folgendermaßen aussehen können [6]:

$$F = a_0 + a_1 \phi_L^{b_1} + a_2 \phi_L^{b_2} + a_3 \phi_L^{b_3} \quad (5.44)$$

Dabei bedeutet  $l$  eine typische Länge des Bauteiles. Das Verhältnis dieser Länge bei der weiterentwickelten, vergrößerten oder verkleinerten Version eines Produktes zur entsprechenden Länge beim ursprünglichen Produkt wird mit  $\phi_L$  bezeichnet. Die Faktoren  $a$  und  $b$  sind für ein bestimmtes Bauteil und ein bestimmtes Verfahren konstante Zahlenwerte. Der erste Term der Formel berücksichtigt alle größenunabhängigen Fixkosten. Beim zweiten Term ist der Exponent  $b_1$  etwa gleich 1, hier werden also die längenabhängigen Einflüsse auf die Fertigungskosten berücksichtigt. Beim Faktor  $b_2$ , der die Größenordnung 1,8 bis 2,2 hat, werden die Einflüsse auf die Herstellkosten berücksichtigt, die im wesentlichen von Größe, Toleranz und Güte der bearbeiteten Flächen abhängen und beim Faktor  $b_3$  schließlich, der etwa gleich 3 ist, die volumenabhängigen Einflüsse.

Die Ermittlung der einzelnen Faktoren für einen konkreten Einzelfall ist (mathematisch) aufwendig und wird deshalb im Rahmen dieser Richtlinie nicht behandelt. Es sei stattdessen auf die entsprechenden Richtlinien und sonstige Veröffentlichungen [6] verwiesen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

VDI 2225 Bl. 1 behandelt als wesentlichen Inhalt ein vereinfachtes Verfahren, mit dessen Hilfe der Konstrukteur schon im Entwurfsstadium einer Konstruktion die zu erwartenden Herstellkosten abschätzen kann. Als Begründung für dieses Verfahren und um die Kostenermittlung auch in Sonderfällen zu ermöglichen, wurden einige Grundbegriffe der Kostenrechnung behandelt, als zentraler Begriff insbesondere die Kostenstruktur einer bestimmten Erzeugnisgruppe.

Der Konstrukteur hat dadurch die Möglichkeit, allgemein zu übersehen, wie die Kosten entstehen, wenn ein Entwurf realisiert wird und er hat speziell die Möglichkeit, die Herstellkosten und, wenn nötig auch die Selbstkosten oder die Gesamtkosten zahlenmäßig zu schätzen.

Damit verfügt der Konstrukteur über die Grundlagen, die es ermöglichen, eine Konstruktion nicht, wie gewohnt, nur technisch, sondern auch im wirtschaftlichen, d.h. kostenmäßigen Sinne zu optimieren.

Abschließend werden einige Möglichkeiten und Verfahren des technisch-wirtschaftlichen Konstruierens angesprochen.

### 6.1 Kostenbeeinflussung durch den Konstrukteur

Der Konstrukteur hat einen entscheidenden Einfluß auf die Kosten, die bei der Erstellung eines techni-

schen Produktes entstehen, und auf die Kosten, die bei der späteren Bedienung und dem Betrieb des Produktes anfallen. Durch die Höhe der Herstellkosten und der Betriebskosten ist die Wirtschaftlichkeit eines technischen Produktes für den Hersteller und den Benutzer gegeben. Bei den Bemühungen, möglichst kostengünstig zu konstruieren, ist es wichtig, daß diese in einem möglichst frühen Stadium der Entwurfsarbeit eingesetzt werden, weil hier die größte Möglichkeit einer Kostenbeeinflussung besteht. Andererseits ist in dem Stadium die Möglichkeit der Kostenbeurteilung noch gering, so daß für den Konstrukteur Methoden zum Erkennen von Kostenschwerpunkten sehr hilfreich sind.

Die Maßnahmen, die zur Minderung der Herstellkosten ergriffen werden können, lassen sich aus dem Aufbau der Herstellkosten  $H$  erkennen:

$$H = M + L + G + E_F \quad (6.01)$$

Werden zunächst die *Materialkosten* betrachtet, so gilt, wenn entsprechend Abschnitt 5.4.6 zwischen den Kosten für Halbzeug und Zulieferung unterschieden wird

$$M = \Sigma(W_b + G_w) + \Sigma(Z + G_z) \quad (6.02)$$

worin

$$W_b = f_z \cdot V_n \cdot k_v \quad (6.03)$$

ist.

Zu den einzelnen Größen kann folgendes empfohlen werden:

$V_n$  in  $\text{cm}^3$ : *Das Nettovolumen des fertig bearbeiteten Teiles* möglichst klein halten durch gute Materialausnutzung bei Beachtung der Festigkeitswerte und durch günstige Formgebung (z.B. bei Gußstücken). Eine Verkleinerung des Nettovolumens durch Wahl eines Werkstoffes höherer Festigkeit kann wegen der höheren volumenbezogenen Werkstoffkosten  $k_v$  zu höheren Kosten führen.

$k_v$  in  $\text{DM}/\text{cm}^3$ : *Volumenbezogene Werkstoffkosten*. Wahl eines kostengünstigen Werkstoffes, der den Anforderungen gerade noch genügt. Für die Materialkosten ist entscheidend das Produkt  $V_n \cdot k_v$ .

$f_z$ : *Verschnittfaktor*. Möglichst kleinen Abfall anstreben. Gute Werkstoffausnutzung bei Tafeln, aus denen Teile ausgebrannt oder ausgeschnitten werden. Einsatz gezogenen Halbzeugs (kleine Toleranz), um Bearbeitung zu sparen. Verwenden von Gesenkschmiedeteilen z.B. Vorschmieden großer Wellen mit großen Durchmesserunterschieden.

$Z$  in DM: *Zulieferungen*. Einholen von Angeboten verschiedener Lieferfirmen (wird meist von den Einkaufsabteilungen besorgt).

$G_w, G_z$  in DM: Auf die *Material- bzw. Zulieferungs-Gemeinkosten* hat der Konstrukteur direkt wenig Einfluß. Ein wichtiger Weg zur Kostensenkung sind organisatorische Maßnahmen, wie Einschränkung der zu lagernden Halbzeuge (Werksnormung) und dadurch Erreichen kürzerer Lagerzeiten (Einsparen von Zinsen).

$E_F$  in DM: *Sondereinzelkosten der Fertigung* vermeiden bzw. niedrig halten durch Zurückgreifen auf vorhandene Fertigungsmittel.

Die Lohnkosten  $L$  werden nach REFA [8] entsprechend folgenden Formeln ermittelt, die hier nicht erläutert, sondern nur diskutiert werden:

$$L = \Sigma l_e + \Sigma l_m \quad (6.04)$$

$$l_e = f_a \cdot (t_g + t_{er} + t_v + t_r) \quad (6.05)$$

$$t_g = t_h + t_n \quad (6.06)$$

$$t_h = \frac{\Delta V}{v_a}, \quad t_n = \frac{l_s}{l_{sp}} \quad (6.07)$$

Die verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

- $l_e$  Lohnkosten je Teil bzw. je Einheit
- $l_m$  Montagelohnkosten je Teil bzw. Einheit
- $t_g$  Grundzeit
- $t_{er}$  Erholungszeit
- $t_v$  Verteilzeit

Alle übrigen Größen werden im folgenden diskutiert:

$f_a$  in DM/min: Niedrigen *Lohnsatz* anstreben, d.h. so konstruieren, daß Arbeiten am Werkstück und bei der Montage möglichst von weniger qualifizierten Arbeitern ausgeführt werden können.

$t_h$  in min: *Hauptzeit* klein halten durch wenig Bearbeitungsflächen, gerade noch ausreichende Toleranzen und Oberflächengüten (siehe Bild 13). Kleines Spanvolumen  $V_{sp}$  in  $\text{cm}^3$  anstreben, Schweißnähte  $l_s$  in cm nicht überdimensionieren. Das spezifische Spanvolumen  $v_a$  in  $\text{cm}^3/\text{min}$  wird vergrößert durch hochwertigere Drehstähle und damit höhere

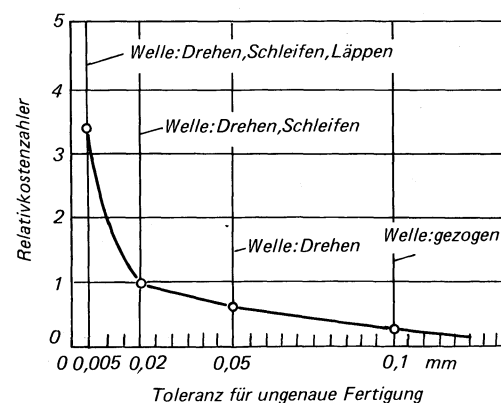


Bild 13. Durchmessertoleranz und Fertigungskosten (Dilling/Rauschenbach)

Schnittgeschwindigkeit. Die spezifische Schweißnahtlänge  $l_{sp}$  in cm/min wird größer durch Einsatz entsprechender Schweißvorrichtungen bzw. Verfahren.

$t_n$  in min: Die *Nebenzeit* wird verringert, wenn Werkstücke so gestaltet werden, daß sich leichte Einspann- und Meßmöglichkeiten ergeben.

$t_r$  in min: Die *Rüstzeit* je Teil verringert sich mit der Stückzahl der Teile. Die Lösgröße läßt sich erhöhen durch Produktnormung, Teilefamilien, Baureihen zur Verringerung der Teilearten.

Der erfahrene Konstrukteur wird schon bei seinen ersten Entwürfen die oben beschriebenen Maßnahmen weitgehend berücksichtigen. Darüber hinaus wird er aber auch die bei der Bedienung und Wartung des Produktes und die im Betrieb anfallenden Kosten beachten. So wird ein Produkt für den Kunden attraktiver sein, wenn eine geringere Anzahl von Stellen, die einer Wartung bedürfen, vorgesehen werden. Ein Produkt mit kleinerem Raumbedarf oder kleinerem Energiebedarf verursacht geringere Betriebskosten. Häufig sind die Betriebskosten viel entscheidender als die Herstellkosten. Aber auch in diesen Fällen muß die Minimierung der Herstellkosten im Auge behalten werden, weil sie einen erheblichen Einfluß auf die Betriebskosten haben.

## 6.2 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Außer den sich aus dem Aufbau der Herstellkosten ergebenden Maßnahmen zu deren Kostensenkung können auch geforderte technische Eigenschaften des Produktes Einfluß auf die Kosten haben (z.B. korrosionsfester Stahl, vorgeschriebener Wirkungsgrad oder Brennstoffverbrauch).

Bei den Bemühungen um eine kostengünstige Konstruktion erfährt der Konstrukteur eine bedeutende Unterstützung, wenn eine technisch wirtschaftliche Bewertung der Entwürfe durchgeführt wird. Dabei werden technische und wirtschaftliche Schwachstellen sichtbar, zu deren Beseitigung angeregt wird.

Technisch-wirtschaftliche Bewertung	Bemessungslehre
Technische Bewertung	I Beanspruchungsgleichungen
Wirtschaftliche Bewertung	II Kostengleichungen
Gesamtbewertung (s-Diagramm)	III Bemessungsgleichung
zum Bewerten, Vergleichen, Verbessern, Optimieren vollständiger technischer Produkte	zum Optimieren wesentlicher Bauteile und Baugruppen und zum Vergleich von Lösungsprinzipien

Bild 14. Technisch-wirtschaftliche Bewertung und Bemessungslehre

Das Verfahren der technisch-wirtschaftlichen Bewertung, das in Bild 14 schematisch dargestellt ist, ist Inhalt von VDI 2225 Bl. 3 (in Vorbereitung). Dort wird das Verfahren allgemein beschrieben und begründet und seine Anwendung anhand von Beispielen aus Maschinenbau, Elektrotechnik und Feinwerktechnik erläutert.

## 6.3 Bemessungslehre

Wesentlicher Inhalt dieser Richtlinie war die rechnerische Ermittlung der Herstellkosten eines Produktes. Die entsprechende Kostengleichung repräsentiert die wirtschaftliche Forderung an die Konstruktion. Der Konstrukteur ist es gewohnt, auch die technische Forderung an Bauteile oder wesentliche Baugruppen seiner Konstruktion in Form einer Beanspruchungsgleichung zu formulieren. Kostengleichung und Beanspruchungsgleichung zusammen repräsentieren, also die wirtschaftliche und technische Wertigkeit eines Bauteiles oder einer Baugruppe. Die Bemessungslehre behandelt die Frage, wie diese Gleichungen aufgestellt und zur Ermittlung von kostengünstigsten Formen und Abmessungen ausgewertet werden können.

Das Verfahren der Bemessungslehre, das in Bild 14 schematisch zusammengefaßt ist, ist Inhalt von VDI 2225 Bl. 4. Dort wird das Verfahren allgemein beschrieben und begründet und seine Anwendung anhand zahlreicher Beispiele erläutert.

## 6.4 Schluß

Vom Konstrukteur wird verstärkt Kostendenken gefordert. So berechtigt diese Forderung sein mag, zu umfangreichen kalkulatorischen Berechnungen hat der Konstrukteur zu wenig Zeit. In VDI 2225 Bl. 1 wurde ein Verfahren gezeigt, mit dem der Konstrukteur mit möglichst geringem Aufwand an Arbeit und Zeit die Kosten schätzen kann, die durch eine Konstruktion verursacht werden.

## Schrifttum

- [1] VDI 2222 Konstruktionsmethodik. Blatt 1: Konzipieren technischer Produkte. Blatt 2: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen.
- [2] VDI 2225 Konstruktionsmethodik. Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Blatt 1: Anleitung und Beispiele. Blatt 2: Tabellenwerk. (Ausgabe 4/77)
- [3] VDI 2234 Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur.
- [4] VDI 2235 Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Methoden und Hilfen.
- [5] Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Lehrgangshandbuch. Düsseldorf: VDI-Bildungswerk.

- [6] Konstrukteure senken Herstellkosten – Methoden und Hilfen. VDI-Ber. 457. Düsseldorf: VDI-Verl.
- [7] DIN 32990, Teil 1 Kosteninformationen. Begriffe und Zeichen für Kostenrechnung und Kosteninformations-Unterlagen
- [8] REFA: Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 3: Kostenrechnung und Arbeitsgestaltung. München: Hanser 1973.
- [9] *Bronner, A.*: Vereinfachte Wirtschaftlichkeitsrechnung. Berlin: Beuth-Vertrieb 1964.
- [10] *Claussen, U.*: Methodisches Auslegen. München: Hanser 1973.
- [11] *Heinen, E.*: Betriebswirtschaftliche Kostenlehre. Wiesbaden: Gabler 1983.
- [12] *Kesselring, F.*: Technische Kompositionslehre. Berlin: Springer 1954.
- [13] *Mellerowicz, K.*: Neuzeitliche Kalkulationsverfahren. Freiburg: Haufe 1977.
- [14] Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Stuttgart: Kohlhammer.
- [15] *Wöhe, G.*: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München: Vahlen 1981.

## Ergänzendes Schrifttum

- Braunsperger, M.*: Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf. Dissertation Technische Universität München 1992
- Ehrlenspiel, K.*: Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser 1995
- Ehrlenspiel, K.*: Kostengünstig konstruieren. Berlin usw.: Springer 1985
- Pahl, G., und W. Beitz*: Konstruktionslehre. Berlin usw.: Springer 1997
- Schaal, K.St.*: Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Dissertation Technische Universität München 1993
- Schiebeler, R.*: Kostengünstiges Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung. Dissertation Technische Universität München 1994
- Steiner, J.M.*: Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz. Dissertation Technische Universität München 1995
- Stutter, R.*: Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation Technische Universität München 1994
- Wolfram, M.*: Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren. Dissertation Technische Universität München 1994