



*Eberhard GARBE, Dr.rer.oec.habil. – An das wirtschaftswissenschaftliche Studium an der Universität Leipzig schloß sich eine 12jährige praktische Tätigkeit mit den Schwerpunkten der Betriebs- und Produktionsorganisation an. Während dieser Zeit (1966) wurde eine Dissertation zur wirtschaftlichen Beeinflussung der Konstruktionsarbeit eingereicht. Die Habilitationsschrift (1972) bezog sich auf die entscheidungsorientierte Anwendung der Wertanalyse. 1973 Berufung zum ord. Professor für Betriebswirtschaftslehre an der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg und Aufbau eines Lehrstuhles für wirtschaftliche Material- und Energieverwendung, der sich inzwischen zu einem Lehrgebiet für Produktions- und Umweltwirtschaft profiliert hat. Die Liste der Publikationen weist 3 Monografien und mehr als 120 Fachartikel zu den Themen Material- und Energiewirtschaft, Wertanalyse, Logistik sowie Stoffkreislaufökonomie (Recycling) aus.*

# Wertanalytische Ermittlung optimaler technologischer Varianten

Die mechanische Fertigung stellt sich innerhalb der Technologien eines Maschinenbauunternehmens als Kernstück dar. In diesem Fertigungsabschnitt werden sowohl die Qualität (bzw. der Gebrauchswert) als auch die Kosten der Fertigung entscheidend beeinflusst. Unter diesem Aspekt wird gezeigt, wie das Denk- und Arbeitsprinzip der Wertanalyse bei der technologischen Projektierung einer mechanischen Fertigung vorteilhaft angewandt werden kann. Aus einem typischen Beispiel wird erkennbar, wie aus den in 7 Teilegruppen zusammengefaßten mechanisch zu bearbeitenden Teilen eine optimale Variantenkombination der technologischen Regelungen abgeleitet werden kann. Wichtiges Hilfsmittel der Variantensuche ist die funktionsgerichtete Vorgehensweise sowie die Methode der Vergleichstechnik. Die optimalen Ergebnisse werden mittels einer Pattern-Entscheidungstabelle abgeleitet.

## 1. Ziele eines technologischen Variantenvergleiches

Als Ziel für die technologische Projektierung einer mechanischen Fertigung wurden folgende Limite vorgegeben:

- Garantie für eine hohe Qualität der zu fertigenden Stückzahlen
- die Investitionskosten für die Ausrüstungen dürfen 10,5 Millionen DM nicht überschreiten
- die Arbeitskräfte für die mechanische Fertigung sollen von 214 (Ist-Technologie) auf 120 (Soll-Technologie) reduziert werden
- der Flächenbedarf muß kleiner als 3400 m<sup>2</sup> sein.

Aufgrund der vorgegebenen Zielstellungen mußte die wirtschaftlich günstigste technologische Variante erarbeitet und darauf basierend eine Investitionsvorauswahl getroffen werden.

## 2. Methodik des Vorgehens

Die Investitionsvorauswahl wurde nach den bekannten und bewährten Schritten einer Wertanalyse erarbeitet.[1]

Bei der technologischen Projektierung hat es sich bewährt, **Typenvertreter** des Produktionsprogramms zu bilden und sie in ihre Einzelteile (Bauelemente) zu zerlegen. Im vorliegenden Beispiel wurden unter diesem Aspekt alle Einzelteile zusammengestellt, die mechanisch zu fertigen sind.

Diese Einzelteile wurden schließlich zu Bearbeitungsgruppen zusammengefaßt, wobei die Gruppenbildung nicht streng nach den allgemein gültigen Klassifizierungsmerkmalen, sondern nach der betrieblichen Zweckmäßigkeit und Notwendigkeit erfolgte. Die Bearbeitungsgruppen wurden deshalb nach technologischen und geometrischen Parametern sowie nach zu fertigenden Stückzahlen geordnet.

Demnach wurden folgende Bearbeitungsgruppen gebildet:

- Gehäuse mit 18 verschiedenen Einzelteilen
- Wellen mit 37 verschiedenen Einzelteilen
- Deckel mit 26 verschiedenen Einzelteilen
- Stangenteile mit 62 verschiedenen Einzelteilen
- Futterteile mit 45 verschiedenen Einzelteilen
- Pumpenzylinder mit 20 verschiedenen Einzelteilen
- Kunststoffteile mit 7 verschiedenen Einzelteilen

Nach der bei einer Wertanalyse typischen funktionsgerichteten Vorgehensweise wurde als Hauptfunktion der mechanischen Fertigung formuliert: „Teile durch Zerspanen in erforderlicher Qualität und Quantität herstellen“.

Aus Studien in vergleichbaren Industrieunternehmen und aus verfügbaren Literaturquellen leiteten die Technologen Erkenntnisse zur technologischen Projektierung einer effizienten Fertigung ab. Um eine rationelle Arbeit des einge-



Lfd. Nr.	Maschinenbezeichnung	benötigter Zeitfonds	Maschinen	Arbeitskräfte	Invest. kosten	Einschätzung der laufenden Kosten		
						h/a	Anzahl	TDM
1	Säge	2246,0	1	1,260	47	●●●		
2	Leit.- und Zugspindeldrehmaschinen	30566,0	6	17,300	273		●●●	
3	Handentgraten	1495,0	1	0,845	4	●●●		
4	Radialbohrmaschine	3957,0	1	2,230	46	●●	●	
5	Karusselldrehmaschine	2984,0	1	1,680	200		●●	●
6	Bügelsäge	440,0	1	0,250	18	●●●		
7	Waagrecht Nut- u. Langloch-Fräsmaschine	228,0	1	0,129	51	●	●●	
8	Senkrechtfräsmaschine	480,0	1	0,270	66			●●●
9	Radialbohrmaschine	180,0	1	0,100	30			
10	Ausblasen	5,9	1	0,003				
		42.583,9	15	24,067	735			

**Legende:** ●... technologischer Aufwand  
 ○... Instandhaltungsaufwand  
 ⊙... technische Zuverlässigkeit

Tab. 1: Untersuchungsergebnisse zur Teilegruppe Pumpenzylinder (Variante 1 auf Basis Ist-Technologie)

Teilegruppe	Basisvariante	Technologische Varianten				
	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	
<b>GEHÄUSE</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	1352,00	1358,00	2258,00	2258,00	1878,00	
Arbeitskräfte (Anzahl)	24	23	22	20	10	
laufende Kosten (TDM)	20,00	26,00	35,00	41,00	41,00	
<b>WELLEN</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	1569,00	1288,00	1016,00	-	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	31	24	14			
laufende Kosten (TDM)	32,00	86,00	63,00			
<b>DECKEL</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	189,60	169,00	301,80	-	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	8	8	6			
laufende Kosten (TDM)	23,00	20,00	22,00			
<b>STANGENTEILE</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	1893,00	1707,00	1741,00	-	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	55	46	38			
laufende Kosten (TDM)	91,00	92,00	35,00			
<b>FUTTERTEILE</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	886,00	1002,00	-	-	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	25	21				
laufende Kosten (TDM)	54,00	52,00				
<b>PUMPENZYLINDER</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	735,00	2442,00	1368,00	2273,00	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	25	21	20	13		
laufende Kosten (TDM)	40,00	25,00	29,00	18,00		
<b>KUNSTSTOFFTEILE</b>						
Invest.-Kosten (TDM)	182,00	182,00	-	-	-	
Arbeitskräfte (Anzahl)	3	2				
laufende Kosten (TDM)	23,00	23,00				

Tab. 2: Variantenkombination

setzten **Technologie-teams** zu sichern, wurde pro Teilegruppe ein Technologie eingesetzt, dem die Aufgabe oblag, **Varianten möglicher Grobtechnologien** zu entwickeln. Dazu hatten sich die Technologen insbesondere mit Betriebsingenieuren und Konstrukteuren zu konsultieren. Während dieser Arbeitsetappe sind möglichst viele Varianten für jeden technologischen Arbeitsgang zu entwickeln, auszuarbeiten und in (groben) technologischen Varianten zusammenzufassen.

Für jede der 7 Teilegruppen wurden die möglichen Grobvarianten erarbeitet; und zwar für Gehäuse 5, für Wellen 3, für Deckel 3, für Stangenteile 3, für Futterteile 2, für Pumpenzylinder 4 und für Kunststoffteile 2 Varianten.

Diese Variantenerarbeitung erforderte einen relativ hohen Zeitaufwand, weil angestrebt wurde, für jede Teilegruppe **alle denkbaren und praktisch realisierbaren technologischen Lösungsmöglichkeiten** zu erfassen und darzustellen. Eine schöpferische, kritische Arbeitsatmosphäre war deshalb in dieser Etappe besonders wichtig. Durch zielgerichtete Informationen und die Anwendung verschiedener Hilfsmittel wurden alle Ideen und Hinweise zur Lösung der Rationalisierungsaufgabe erfaßt. Als wesentliche Hilfsmittel der Variantensuche haben sich die funktionsgerichtete Betrachtungsweise, die Vergleichstechnik, die Anwendung von Testfragen, Ideenkonferenzen und Problemberatungen bewährt. Die Kreativität der Technologen wurde mit diesen Hilfsmitteln wesentlich gefördert.[2]

An der Teilegruppe Pumpenzylinder läßt sich zeigen, welche technologischen Varianten ermittelt und bewertet wurden und wie eine optimale **Variantenkombination** zustande kam.

### 3. Ermittlung und Kombination technologischer Varianten

Für die Teilegruppe Pumpenzylinder wurden 4 prinzipiell mögliche technologische Varianten der mechanischen Bearbeitung ermittelt und nach tech-



Effizienzkriterien	f	V 1		V 2		V 3		V 4		Teillimit	
		AW	PW	AW	PW	AW	PW	AW	PW		
<b>Laufender Aufwand</b>	0,25	40		25		29		18		112	①
		0,357	8,93	0,223	5,58	0,259	6,48	0,160	4,00		
<b>Arbeitskräfte</b>	0,50	31		23		22		19		95	25
		0,326	16,30	0,242	12,10	0,232	11,60	0,200	10,00		
<b>Investitionsaufwand</b>	0,25	735		2442		1368		2433		6978	2500
		0,105	2,63	0,349	8,73	0,196	4,90	0,348	8,70		
<b>Patternwerte (PW)</b>		27,86		26,41		22,98		22,70			
<b>Rangfolge</b>		4		3		2		1			

**Legende:**  
 f... Wichtungsfaktor  
 V... Variante  
 AW... anteilige Werte (einer Variante)  
 PW... Patternwert  
 ①... nicht ermittelt, weil dafür in der Phase der Investitionsvorentcheidung noch keine Kennzahlen vorliegen

Tab. 3: Pattern-Entscheidungstabelle

nisch- wirtschaftlichen Kriterien bewertet:

**Variante 1:**

Basisvariante (Ist-Technologie), welche als Vergleichsmaßstab zugrunde gelegt wurde.

**Variante 2:**

Die gesägten Einzelteile laufen über einen Abläng- und Zentrierautomaten zur numerisch gesteuerten Plandrehmaschine und werden komplett gefertigt. Das Bohren von Heiz- und Kühlkanälen erfolgt mehrspindlig.

**Variante 3:**

Analog der Variante 2, aber zur Entlastung der einzusetzenden NC-Maschinen werden zusätzliche Drehmaschi-

nen (Typ DLZ) installiert. Mit dieser veränderten Verteilung der Zerspanungsleistung würde sich die Lebensdauer der NC-Maschinen erhöhen.

**Variante 4:**

Nach dem Sägen, Ablängen und Zentrieren wird an dem aus Stangenmaterial zu fertigenden Pumpenzylinder auf einer Drehmaschine (des Typs DLZ) der Vierkant abgedreht und der Hals vorgedreht. Das Vor- und Fertigdrehen der Zylinderbohrung erfolgt auf einer NC-Maschine. Das mehrspindlige Bohren wird entsprechend der Variante 2 durchgeführt.

In der Tabelle 1 werden die technisch-ökonomischen Ergebnisse der ersten

Variante der Pumpenzylinderherstellung zusammengestellt.

Die einzelnen technologischen Varianten wurden nach den Kriterien Investitionskosten, Arbeitskräftebedarf und laufender Aufwand (Betriebskosten) bewertet und gleichzeitig nach dem technologischen und dem Instandhaltungsaufwand sowie nach der technischen Zuverlässigkeit beurteilt.

Der laufende Aufwand stellt eine wichtige wirtschaftliche Vergleichsgröße der Varianten untereinander dar. Er konnte im vorliegenden Falle in der Phase der Investitionsvorentcheidung jedoch nur nach den allgemeinen qualitativen Kriterien „niedrig“, „mittel“ oder „hoch“ eingeschätzt werden, wobei folgende Koeffizienten eingesetzt wurden: niedrig 1,0; mittel 2,0; hoch 3,0.

Für die Variante 1 der Teilgruppen Pumpenzylinder ergibt sich dann lt. Tabelle 1 (Einschätzung der laufenden Kosten) eine Bewertungskennzahl von 40. Sie

Teilgruppe	optimale Einzelvariante	Invest.-Kosten	laufende Kosten	Arbeitskräfte
		TDM	Punkte	Anzahl
<b>Gehäuse</b>	V 5	1878	41	11
<b>Wellen</b>	V 3	1016	63	14
<b>Deckel</b>	V 3	302	22	6
<b>Stangenteile</b>	V 3	1741	35	39
<b>Futterteile</b>	V 2	1002	52	22
<b>Pumpenzylinder</b>	V 4	2273	18	14
<b>Kunststoffteile</b>	V 2	182	23	2
<b>Gesamt</b>		8394	254	108

Tab. 4: Optimale Variantenkombination



setzt sich aus folgenden Einzelbewertungen zusammen:

12 Mal niedrig (1,0) =	12
8 Mal mittel (2,0) =	16
4 Mal hoch (3,0) =	12
gesamt =	40

(vgl. dazu auch Tabelle 2)

Aufgrund der durch das Technologenteam vorgenommenen Einschätzungen ergaben sich die (in der Tabelle 2 ausgewiesenen) Variantenkombinationen.

Die Ermittlung der optimalen Variante erfolgte nach einer Rahmenmethodik „Wertanalyse bei Investitionen“ mit Hilfe einer Pattern-Entscheidungstabelle, wobei folgende Wichtungsfaktoren zugrunde gelegt wurden:

- Investitionskosten 0,25
- Arbeitskräfte 0,50
- laufender Aufwand 0,25

An der Teilegruppe Pumpenzylinder läßt sich das methodische Vorgehen verdeutlichen (vgl. Tabelle 1)

Zur Auswahl der wirtschaftlich günstigsten Variante wurde eine Pattern-Matrix aufgestellt und von den absoluten Werten ausgegangen. In der Zeile 2 der Matrix (Tabelle 3) ist beispielsweise der Arbeitskräftebedarf pro Variante ausgewiesen. Der jeweilige Variantenwert dividiert durch die Summe (95 Arbeitskräfte) x 100 ergibt den prozentualen Anteil und somit die anteiligen Werte (AW) jeder Variante. Der Pattern-Wert (PW) ergibt sich durch Multiplikation mit dem Wichtungsfaktor f.

Nach dieser Vorgehensweise stellt das Minimum der Pattern-Werte die günstigste Variante dar, weil alle drei Kriterien möglichst niedrig den besten Wert ergeben.

#### 4. Diskussion der Ergebnisse

Aus der Tabelle 2 ist erkennbar:

- Bei der Berechnung des **Investitionskostenminimums** ergibt sich eine Variantenkombination, bei der den minimierten Investitionskosten (6802 TDM) ein relativ hoher Arbeitskräftebedarf sowie ein geringer Gebrauchswert der hergestellten Teile gegenübersteht. Es wären 135 Arbeitskräfte nötig, und die laufenden Aufwendungen würden bei 305 Bewertungspunkten liegen.

- Bei der Berechnung eines **minimalen laufenden Aufwandes** (252 Bewertungspunkte) betragen die Investitionskosten 8261 TDM, und es werden 110 Arbeitskräfte benötigt. Die vorgenommene Einschätzung ergab, daß hierbei der Gebrauchswert der zu fertigenden Einzelteile und die technische Zuverlässigkeit nicht befriedigend gesichert wäre.

- Bei der Berechnung eines **minimalen Arbeitskräftebedarfes** (104,5 Arbeitskräfte) ergibt sich, daß dem günstigen Arbeitskräftebedarf ein relativ hoher Investitionskostenbedarf (8393,8 TDM) gegenübersteht, während der laufende Aufwand mit 254 Bewertungspunkten durchaus akzeptabel ist.

Die Optimierung (bzw. Minimierung) nach jeweils nur **einem** Kriterium führte **nicht** zu dem angestrebten wirtschaftlichen Ergebnis. Die optimale Variante wurde deshalb mit Hilfe des Pattern-Bewertungssystems aus den Ergebnissen aller 7 Einzelentscheidungen der Teilegruppen ermittelt. Sie ist in der Tabelle 4 zusammengefaßt dargestellt.

Die in der Tabelle 4 dargestellte optimale Variantenkombination erfüllt die zu Beginn der Wertanalyse gesetzten Zielstellungen (Limite), wonach die Investitionskosten für die Ausrüstungen höchstens 10,5 Millionen DM betragen und der Arbeitskräftebedarf 120 nicht überschreiten sollte.

Addiert man zu den für die Realisierung der optimalen Variantenkombination erforderlichen 8394 TDM die Investitionskosten für den nicht mit der Wertanalyse analysierten Wertumfang des Vorhabens, so sind insgesamt 10275 TDM an Investitionskosten notwendig. Das vorgegebene Limit wurde also eingehalten.

Der Arbeitskräftebedarf, ein besonders wichtiges Kriterium für das Rationalisierungsobjekt Teilefertigung konnte durch den im Team festgelegten hohen Wichtungsfaktor entscheidend beeinflußt werden. Mit einem Bedarf von 108 Arbeitskräften wurde das Ziel beachtlich überboten.

Es kann eingeschätzt werden, daß die Anwendung der Wertanalyse-Methodik wesentlich zu einer qualitativen Verbesserung der Vorbereitung der mechanischen Fertigung beigetragen hat, indem systematisch Varianten gebildet und bewertet wurden. Dabei stieg der Bearbeitungsumfang nicht an.

#### 5. Zusammenfassung

Bei der technologischen Projektierung einer mechanischen Fertigung im Maschinenbauunternehmen wurden Prinzipien der Wertanalyse vorteilhaft angewandt. Als wesentliche Arbeitsetappen ergaben sich:

- die organisatorische Vorbereitung
- die Ermittlung des Ist-Zustandes (Basis-Variante)
- die Ausarbeitung von technologischen Lösungsvarianten und deren technisch-wirtschaftliche Bewertung
- die Beurteilung und Vorauswahl der ermittelten Varianten
- die Auswahl der technisch und wirtschaftlich günstigsten Kombination von Einzelvarianten der technologischen Ablaufstufen
- die Zusammenstellung und Begründung der Ergebnisse in einer Investitionsvorentscheidung.

Das vorliegende Beispiel zeigt, daß die bislang auf dem Gebiete der Erzeugnisentwicklung dominierende Wertanalyse auch bei der Entwicklung optimaler **technologischer Varianten** erfolgreich anwendbar ist.[3]

Mit der Wertanalyse läßt sich analysieren, ob die notwendigen Funktionen des Untersuchungsobjektes besser und billiger realisiert werden können. Vielfach hat die funktionsgerichtete Betrachtungsweise den Wegfall vorher als notwendig erachteter Funktionen oder die Anwendung günstigerer Funktionsprinzipien zur Folge. Da die zu fertigenden Einzelteile und Baugruppen Träger der Funktionen sind (welche von einem Maschinenbauerzeugnis zu erfüllen sind), hat die funktionsgerichtete Betrachtung erhebliche positive Auswirkungen auf die Technologie und damit auf die Arbeitsablaufgestaltung sowie die wirtschaftliche Materialverwendung.

#### Literatur:

- [1] DIN 69910 - Wertanalyse-Arbeitsplan
- [2] BRONNER, A.: Einsatz der Wertanalyse in Fertigungsbetrieben, Praxiswissen für Ingenieure. RKW-Verlag/Verlag TÜV Rheinland, Köln 1989
- [3] HAHN, D.; LASSMANN, G.: Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Bd. 1, Abschnitt 2.3.3: Wertanalyse als Grundlage der Produktvariation, Physica-Verlag, Heidelberg 1990

