

In gewissen Fällen können hier bereits technologische Ansätze verwendet werden, sei es durch EDV-Generierung von Fertigungsplänen und nachfolgende Kostenermittlung, sei es durch simulierte Konstruktionsergänzungen in der Arbeitsvorbereitung. Letztgenannte Arbeiten sind jedoch sehr zeitaufwendig und nur selten zu empfehlen.

4. Technologisch orientierte Verfahren

Liegen Zeichnungen, Stücklisten und Fertigungspläne vor und sind auch die Produktionsstückzahlen bekannt, dann können mit den gebräuchlichen Zuschlagskalkulationen auf Kostenstellenbasis, mit Platzkostenkalkulationen (Maschinenstundensatzrechnungen) oder in Sonderfällen mit Einzelkostenrechnungen die Herstellkosten o.ä. ermittelt werden. Diese Kalkulationen bilden bei Serienprodukten die Grundlage für die Preisbildung und für die Produktbeurteilung.

Konstruktionsvergleiche oder Verfahrensvergleiche von Serienprodukten müssen auf der Basis von Einzel- oder Platzkosten erfolgen, da die anderen Verfahren für diese Entscheidungen zu grob sind.

3.1 Kostengesetzmäßigkeiten und -tendenzen

Kosten sind wirtschaftlich-technischen Gesetzen unterworfen, die so zwingend sind wie die technisch-physikalischen Gesetze [5].

Die meisten wirtschaftlichen Gesetze können jedoch nicht deduktiv hergeleitet werden, da die einzelnen Faktoren nicht isoliert voneinander zu betrachten sind. Nur als „Erfahrungsgesetze“, also induktiv, aus einer Großzahl von Beobachtungen, lassen sich die funktionalen Zusammenhänge herauschälen (Statistische Absicherung).

Das Pflichtenheft bestimmt das Gesamtniveau von Preis und Kosten. Entwicklung und Marketing legen im Pflichtenheft die Untergrenze der Herstellkosten fest. Die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung können nur versuchen, das in der Konstruktion liegende Kostenminimum zu erreichen. Daher ist es wohl angebracht, zunächst einige Probleme zum Pflichtenheft und zur Konstruktion zu besprechen.

Statt der Frage nach fertigungsgerechtem Konstruieren wird in den letzten Jahren immer mehr die Frage nach marktgerechtem und kostengerechtem oder kostengünstigem Konstruieren gestellt und nach umwelt-schonender Herstellung und Entsorgung.

Der Grundsatz
„So gut wie möglich“
wird allmählich abgelöst durch den Grundsatz
„So gut wie nötig“.

Es soll nicht mehr in die Erzeugnisse hineinkonstruiert werden als der Kunde zu bezahlen bereit ist. Der Mehraufwand muss stets in einem angemessenen Verhältnis zum höheren Nutzwert stehen. Der Kunde zahlt uns nur seinen Nutzwert, nicht aber unsere Kosten. Daher soll nicht die technische, sondern die wirtschaftliche Optimallösung angestrebt werden. Die Konstruktion auf eine begrenzte Lebensdauer und auf quantifizierte Zuverlässigkeit sind nicht nur im Flugzeugbau, sondern auch schon in anderen Branchen allgemeine Richtschnur geworden.

Die Idealkonstruktion ist so zu dimensionieren,
dass alle Teile, nach Ablauf der vorgesehenen Nutzungsdauer,
zum gleichen Zeitpunkt gebrauchsunfähig werden.

In den USA hat eine Kühlschrankfabrik, die beim Verkauf neuer Schränke in Zahlung genommenen älteren Kühlschränke demontiert, um festzustellen, welche Teile bei allen Schränken noch einwandfrei bzw. überdimensioniert waren und somit „abgespeckt“ werden konnten. Schwachstellen melden sich von selbst. Überdimensionierungen kosten oft mehr Geld, machen sich jedoch nicht direkt bemerkbar, sondern nur in hohen Kosten.

Einfach zusammengefasst kann als Richtsatz für die Dimensionierung oder Tolerierung gelten:

Ein Teil ist so zu konstruieren,
dass der Gesamtschaden, der bei seinem Versagen entsteht,
ein wenig kleiner ist als der Mehraufwand
durch eine stärkere Dimensionierung oder genauere Fertigung.

Diese Forderung klingt zwar etwas revolutionär, sie ist aber schon lange die Maxime bei harter Konkurrenz.

Als allgemeine Gesetzmäßigkeiten, denen die Kosten bei optimaler Planung gehorchen, lassen sich durch logische Überlegungen und aus Beobachtungen, Auswertungen und allgemeinen Erfahrungen bei vielen Projekten die nachfolgenden Regeln mathematisch fassen:

3.1.1

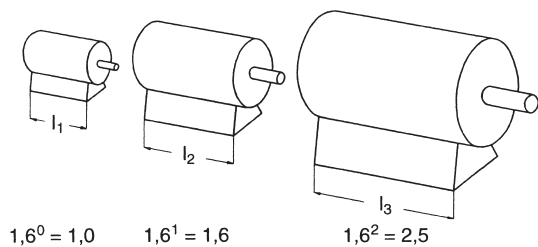
Wachstumsgesetze

Bei der Kalkulation von Baureihen wie Motoren, Pumpen, Getrieben oder von Anlagen, die in unterschiedlichen Größen errichtet werden wie Chemieanlagen, Kraftwerksanlagen, Entsorgungsanlagen oder sonstigen Produkten, die nach den Ähnlichkeitsgesetzen aufgebaut werden, haben sich seit vielen Jahren Kalkulationsformeln bewährt, die auf einfachen Gesetzmäßigkeiten aufbauen oder nach ausgewerteten Nachkalkulationen ausgeführter Anlagen interpolierend oder extrapolierend ermittelt wurden.

So gelten für die unten abgebildete Motorbaureihe (Abb. 13) in erster Näherung folgende Gesetzmäßigkeiten:

- Das Volumen der Motoren wächst nach dem Längenverhältnis hoch 3.
- Die Oberfläche der Motoren wächst nach dem Längenverhältnis hoch 2 und
- die Höhen, Breiten, Tiefen sind proportional zueinander, also wachsen direkt im Längenverhältnis der anderen Dimensionen.
- Das Gewicht, die Kupferkosten, die Eisenkosten verhalten sich etwa wie die Volumina, also wie das Längenverhältnis hoch 3.
- Der Farbverbrauch, die Bearbeitung, sind vorwiegend von der Fläche abhängig, also wachsen sie etwa wie die Fläche, im Quadrat zum Längenverhältnis.
- Die Zeiten und Kosten für das Umrüsten der Maschinen, die die kleinen, mittleren und großen Motoren bearbeiten, steigen sichtlich unterproportional zum Längenverhältnis. Dies musste jedoch von qualifizierten Kostenrechtern statistisch untersucht und quantitativ belegt werden, was im Rahmen einer Dissertation gelang. Dort wurde

Abb. 13. Ähnlichkeitsgesetze mit Normreihe $R\ 5 = \sqrt[3]{10}$



herausgefunden, dass sie etwa proportional zur Wurzel des Längenverhältnisses, also zum Längenverhältnis hoch $1/2$ wachsen.

Nach diesen einfachen Überlegungen sollen nun die Auswertungen mathematisch gefasst werden (vergl. Abb. 14):

a) Materialkosten (k_m)

$$k_{m2} = k_{m1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^\alpha$$

mit $\alpha \approx 3$ und den Längen $l_{1/2}$ der ähnlichen Produkte.

Die Materialkosten ähnlicher Teile steigen etwa proportional zum Volumen bzw. zur 3. Potenz des Längenverhältnisses.

b) Fertigungskosten (k_f)

$$k_{f2} = k_{f1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^\beta$$

mit $1,8 \leq \beta \leq 2,2$.

Die Fertigungskosten ähnlicher Teile steigen etwa proportional zur Oberfläche bzw. zur 2. Potenz der Längenverhältnisse.

(Bei Massenteilen ist etwas weniger, bei Kleinserienteilen etwas mehr Wachstum zu erwarten).

c) Rüstkosten (k_r)

$$k_{r2} = \frac{n_1}{n_2} k_{r1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^\tau$$

mit $0,4 \leq \tau \leq 0,6$

↓

↓

Serie

Kleinserie

und $n_{1/2}$ = Losgröße in Stk/Los.

Die Rüstkosten steigen etwa proportional zur Wurzel aus den Längenverhältnissen und proportional zum Kehrwert der Losgrößen. (Je kleiner die Losgröße, desto höher die Rüstkosten je Stück.)

Aus den drei obengenannten Wachstumsgesetzen kann das Ähnlichkeitsgesetz für Baureihen abgeleitet werden:

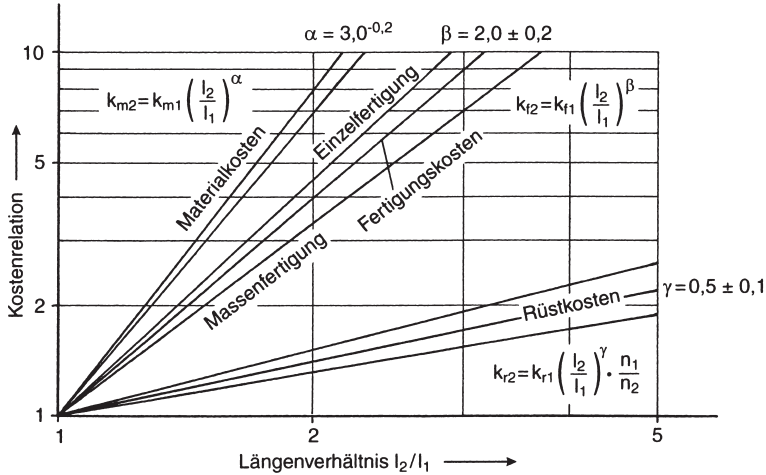


Abb. 14. Wachstumsgesetze für Material-, Fertigungs- und Rüstkosten

d) Baureihen-Ähnlichkeitsgesetz

$$k_{h2} = k_{m1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^3 + k_{f1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 + \frac{n_1}{n_2} k_{r1} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^{0,5}$$

Unter weiterer Einbeziehung des „Leistungsgesetzes“ (siehe Abschnitt 3.1.3) kann die optimale Größenstufung von Baureihen hergeleitet werden:

Bei gleichem Bedarf an verschiedenen großen Teilen sollten einheitlich große Teile verwendet werden, wenn die großen Teile nicht mehr überdimensioniert sind als

$$9\%, \left(\lambda_\mu = \frac{l_2}{l_1} \leq 1,09 \right) \text{ bei materialintensiven Werkstücken bis}$$

$$29\%, \left(\lambda_\beta = \frac{l_2}{l_1} \leq 1,29 \right) \text{ bei bearbeitungsintensiven Werkstücken.}$$

e) Stufensprung bei Baureihen

Aus diesen Kostenbeziehungen kann gefolgert werden:

Bei Baureihen sollte der Stufensprung in den Längenabmessungen bei materialintensiven Produkten nicht wesentlich unter der Normreihe R 20

(Stufensprung $\sqrt[20]{10} = 1,12$) und bei fertigungsintensiven Produkten nicht unter R 10 (Stufensprung $\sqrt[10]{10} = 1,25$) gewählt werden, da geringere Abstufung wegen der damit verbundenen kleineren Produktionsmengen höhere Kosten verursacht als eine teilweise Überdimensionierung.

f) Optimale Stufung

Da die Fertigungskosten eines Erzeugnisses etwa proportional zur Länge l hoch 2 und die Materialkosten eines Erzeugnisses etwa proportional zur Länge l hoch 3 wachsen und außerdem die Fertigungskosten zur Produktionsleistung n hoch $-0,322$ abfallen und die Materialkosten etwa zur Produktionsleistung n hoch $-0,152$, lässt sich eine wirtschaftlich optimale Typreihenbildung errechnen mit einem Längensprung λ von

$$\lambda_f = \frac{l_2}{l_1} = 1,196 \text{ für fertigungskostenbestimmte Produkte}$$

und $\lambda_m = \frac{l_2}{l_1} = 1,113$ für materialkostenbestimmte Produkte.

Da die Leistung P etwa proportional zum Volumen ansteigt, erfolgt eine optimale Leistungsstufung Π_{opt} von

$$\Pi_{\text{opt}} = \frac{P_2}{P_1}$$

mit $\Pi_{\text{optf}}^3 = 1,711$ für fertigungsbestimmte Produkte

und $\Pi_{\text{optm}}^3 = 1,379$ für materialbestimmte Produkte.

Der Stufensprung der Normreihe R 5 $\approx 1,50$ liegt zwischen diesen beiden Extremwerten und sollte damit als Leistungsstufensprung für Produkte angesetzt werden, die etwa gleich viel Fertigungskosten wie Materialkosten haben. Damit können für eine leichte Getriebereihe zwischen 20 und 100 kW folgende Abstufungen empfohlen werden:

Getriebe Größe	1	2	3	4	5
Leistung in kW	20	30	45	67	100

Für zwischenliegende Leistungen sind jeweils die Getriebe höherer Leistung einzusetzen und eventuell etwas „abzuspecken“.

Beispiel zu 3.1.1: Kosten einer Getriebereihe (nach den Wachstumsgesetzen)

Eine Getriebebaureihe werde so aufgebaut, dass in den Längenabmessungen ein Stufensprung von

$$\lambda = \frac{l_{i+1}}{l_i} = R \cdot 20 = \sqrt[20]{10} = 1,12 \text{ eingehalten wird.}$$

(Dieser Stufensprung zeigte sich bereits als wirtschaftlich günstig.)

Von der Getriebereihe wurde die mittlere Größe bereits technologisch (mit Stückliste und Arbeitsplänen) kalkuliert. Die anderen Größen sollen anhand der Wachstumsgesetze „hochgerechnet“ werden.

Die Materialkosten steigen etwa mit dem Längenverhältnis λ hoch 3.

Die Fertigungskosten steigen etwa mit λ hoch 2

und die Rüstkosten steigen etwa mit λ hoch 0,5 .

Die Rüstkosten sind beim kleinsten und beim größten Getriebe auf 50 Stk und bei den dazwischenliegenden Getrieben auf 100 Stk umzulegen.

Benennung	Wachstumsfaktor	Varianten-Nummer				
		1	2	3	4	5
Längenfaktor	λ^n	1,00	1,12	1,25	1,40	1,57
Materialkosten	λ^3	100	140	197	277	389
Fertigungskosten	λ^2	100	125	157	197	247
Rüstkosten*	$\lambda^{0,5}$	$\frac{1786}{50} = 36$	$\frac{1890}{100} = 19$	$\frac{2000}{100} = 20$	$\frac{2116}{100} = 21$	$\frac{2240}{50} = 45$
Summe = HK I*	Σ	236	284	374	495	681

* in €/Stk

Ausgehend von den 374 € steigen die Herstellkosten 1 mit der Größe wie erwartet.

3.1.2

Mengengesetze**a) Lernkurve (für Fertigungszeiten bzw. -kosten)**

Seit den 20er Jahren (de Jong [6] und später Schieferer [7]) ist bekannt, dass bei Serienanläufen während der Anlaufphase die Fertigungszeiten je produzierte Einheit nach mathematisch leicht fassbaren Gesetzmäßigkeiten abfallen, bis sie, nach einer gewissen Anlernzeit, die vorgerechneten Vorgabezeiten erreichen (vergl. Abb. 15).

Trägt man die benötigten Fertigungszeiten in ein doppelt logarithmisches Diagrammblatt ein, liegen sie etwa auf einer Geraden, (Abb. 16), was bedeutet, dass bei jeder Verdoppelung der Produktionsleistung die gebrauchte Zeit je Einheit um den gleichen Prozentsatz reduziert werden

Abb. 15. Fertigungszeitbedarf während der Anlaufperiode (linear)

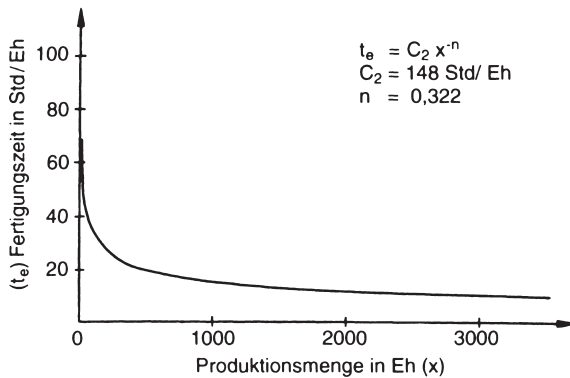
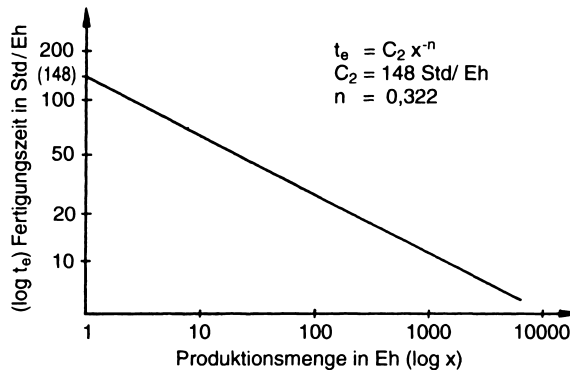


Abb. 16. Fertigungszeitbedarf während der Anlaufperiode (logarithmisch)



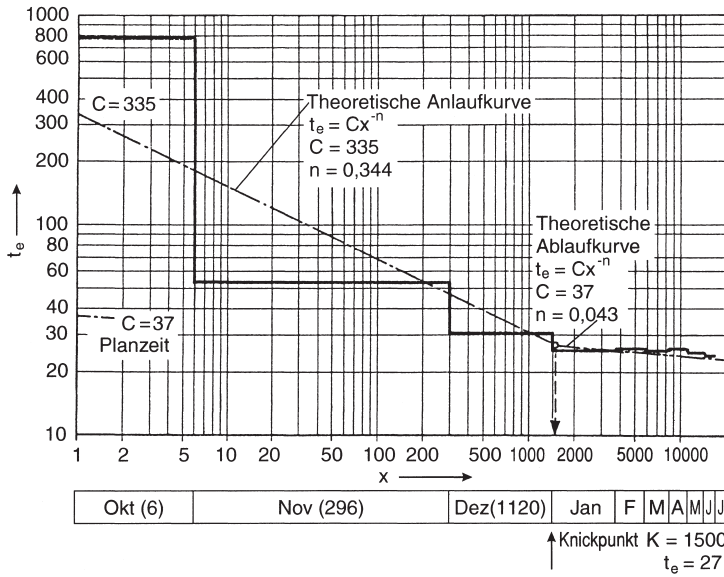


Abb. 17. Anlauf- und Ablaufkurve einer Aggregatfertigung (PKW-Automatik-Getriebe)

kann, bis schließlich, in der Nähe der normalen Serienzeit, die Degressionskurve abknickt (vergl. Abb. 17).

In Abhängigkeit von der Produktionsmenge ergeben sich für die Fertigungszeiten $t_{f1/2}$ beim Erreichen der Produktionsmengen m_1 und m_2 (Stückzahlen) in der Anlaufperiode folgende Gesetzmäßigkeiten:

$$t_{f2} = t_{f1} \left(\frac{m_1}{m_2} \right)^\mu = t_{f1} \times m_1^\mu \times m_2^{-\mu}, \text{ mit } t_{f1} \times m_1^\mu = C_2$$

mit m = absolute Menge in Stk seit Fertigungsbeginn.

$$\text{und } 0 \leq \mu \leq 0,322$$

↓ ↓

ohne mit 80 % Lernwirkung

$$t_{f2} = C_2 \times m_2^{-\mu}.$$

Aufgrund der „Übungsdegression“ sind bei jeder Verdoppelung der Menge m die Fertigungszeiten der Produktionseinheit um 10% bis zu 20% zu senken.

Die Grenze der Degression liegt bei „Einzelfertigung“ um 100 Stück und bei Massenfertigung bei etwa 3000 Stück oder noch höher. Danach verringert sich die Degression.

Aber auch nach dem Erreichen der Serienzeit lässt sich in der Praxis über Jahre hinweg die Vorgabezeit reduzieren, wenn außer dem „Lerneffekt“ oder „Routineeffekt“ der Anlaufperiode, die technisch-technologische Aktualisierung im konstruktiven wie auch im fertigungstechnischen Bereich aktiv betrieben wird.

In Abb. 18 sind die Zeitbedarfswerte für zwei Serienmotoren über einen Zeitraum von 10 Jahren notiert. Die jeweilige Halbierung der benötigten „Vorgabezeiten“ innerhalb der 10 Jahre weist einen Degressionsfaktor aus von $\sqrt[10]{0,5} = 0,93$ bzw. 93 %. Das heißt, jedes Jahr konnten im Durchschnitt die Vorgabezeiten um 7 % bzw. auf 93 % des Vorjahreswerts weitergesenkt werden.

Da hierfür jedoch laufend erhebliche Investitionen erforderlich waren, und dadurch die Gemeinkostensätze ständig anstiegen, ließen sich die Kosten wesentlich weniger senken als die Vorgabezeiten (nach realistischen Annahmen nur etwa 3 % p.a.).

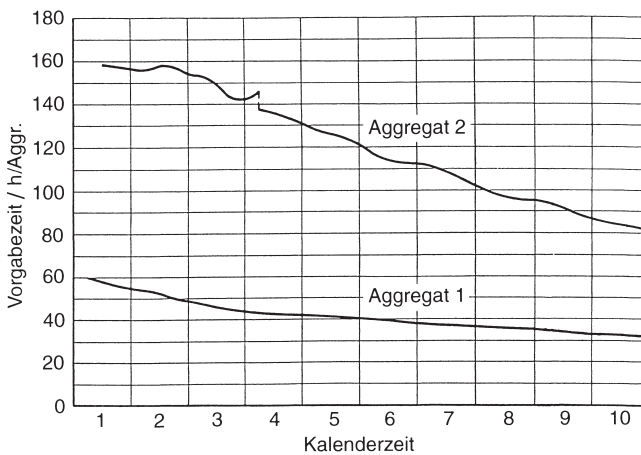


Abb. 18. Entwicklung der Vorgabezeiten innerhalb von 10 Jahren bei Serienaggregaten

Beispiel zu 3.1.2a: Anlauf- und Lernkurven

Ein neues Kopiergerät soll mit einer Produktionsleistung von $M = 960$ Geräten pro Monat in einer Serienzeit von $t_e = 3$ Stunden pro Gerät gebaut werden.

Die Anlaufzeit wird mit 4 Monaten angenommen, innerhalb derer die volle Serienzeit erreicht wird.

- Welche Mengen sind in den ersten vier Monaten (Mo 1 bis 4) nach einer produktionsgerechten Anlaufkurve aufzulegen bzw. welche Fortschrittszahlen und welche Monatsproduktionsmengen ergibt dies?
- Wie hoch ist der Mehrzeitbedarf je Gerät ($\Delta T = t_{ex} - t_e$) am Ende des jeweiligen Monats (Mo), wenn die Lernkurve den Exponenten $\mu = -1/3$ bzw. $-0,333 \dots$ hat?
- Wie hoch ist die Mehrzeit während der ganzen Anlaufphase?
- Wieviel „Mehrzeitumlage“ muss auf einen Kopierer verrechnet werden, wenn 3 Jahre nach Produktionsbeginn die Produktion eingestellt werden muss und nach dem Anlauf konstant 960 Geräte pro Monat verkauft werden.

Ergebnistabelle

Zeit (z) in Mo	Faktor (z^3) in Mo^3	Fortschritts- zahl FZ (kum.) (x) in Stk	Monats- produktion (x') in Stk/Mo	Vorgabezeit (t_e) in h/Stk	Mehrzeit am Monatsende ($t_{ex} - t_e$) in h/Stk
1	1	20	20	12,00	9,00
2	8	160	140	6,00	3,00
3	27	540	380	4,00	1,00
4	64	1280	740	3,00	0,00
5	–	2240	960	3,00	0,00

Zu a) Produktionsmengen und Fortschrittszahlen

Nachrechnungen erfolgreicher Serienanläufe haben ergeben, dass die Produktionsmenge x (= Fortschrittszahl) möglichst mit der dritten Potenz der Zeit ansteigen soll, also:

$$x = C_1 \cdot z^3$$

mit C_1 = Erfahrungskonstante und

z = Zeitperiode (evt. Woche oder Monat).

Die Produktionsleistung $\frac{dx}{dz}$ beträgt dabei $\frac{dx}{dz} = 3 C_1 \cdot z^2$.

Sie soll am Ende der Anlaufperiode den Wert M, die normale Serienleistung von 960 Geräten je Monat (= Ger/Mo) erreichen.

Mit den vorgegebenen Werten ist für den Serienanlauf C_1 zu ermitteln. Setzt man

$$M = 3 C_1 \cdot (4 \text{ Mo})^2 = 960 \text{ Ger/Mo, wird}$$

$$C_1 = \frac{960 \text{ Ger/Mo}^3}{3 \cdot 4^2} = 20 \frac{\text{Ger}}{\text{Mo}^3}.$$

Mit diesem Wert von C_1 errechnen sich die Fortschrittszahlen x zum Monatsende bis Monat 4, wie in der Tabelle eingetragen. Im Monat 5 wird die volle Menge von 960 Geräten produziert. Die folgende Spalte der Tabelle zeigt die Produktionsmengen der einzelnen Monate, errechnet aus der Differenz der Fortschrittszahlen.

Zu b) Fertigungszeiten

Die Fertigungszeiten t_{ex} am jeweiligen Monatsende (bei x) erhält man aus der Anlaufkurve (die x -Werte) und aus der Lernkurve (die t_{ex} -Werte).

$$t_{\text{ex}} = C_2 x^{-\eta}.$$

Daraus ergibt sich nach der Aufgabenstellung mit $t_{e4} = 3,00 \text{ h/Ger}$ für $M = 1280$ Geräte

$$C_2 = 1280^{1/3} \cdot 3 \frac{\text{h}}{\text{Ger}} = 32,57 \text{ h/Ger}.$$

Die gesuchte Fertigungszeit an den Monatsenden ist

$$t_{e1} = 32,57 \cdot 20^{-0,333} \frac{\text{h}}{\text{Ger}} = 12,00 \frac{\text{h}}{\text{Ger}}$$

$$t_{e2} = 32,57 \cdot 160^{-0,333} \frac{\text{h}}{\text{Ger}} = 6,00 \frac{\text{h}}{\text{Ger}}$$

$$t_{e3} = 32,57 \cdot 540^{-0,333} \frac{\text{h}}{\text{Ger}} = 4,00 \frac{\text{h}}{\text{Ger}}$$

$$t_{e4} = 32,57 \cdot 1280^{-0,333} \frac{h}{\text{Ger}} = 3,00 \frac{h}{\text{Ger}}.$$

Siehe Tabelleneintragung!

Zu c) Mehrzeiten

Die Mehrzeit während der Anlaufperiode beträgt:

$$\Delta T = \left(\int_0^{1280} C_2 x^{-n} dx - 1280 \cdot 3 \right) h.$$

Daraus ergibt sich

$$\Delta T = 1883 h.$$

Der Mehrzeitbedarf ist somit 1883 h.

Zu d) Gesamtproduktion und Mehrzeitumlage

$$(36 - 4) \text{ Mo} \cdot 960 \text{ Ger/Mo} + 1280 \text{ Ger} = 32900 \text{ Ger}.$$

Die Mehrzeit beträgt

$$\Delta T' = 1883 h / 32900 \text{ Ger} = 0,057 h/\text{Ger}$$

$$\delta T' = 0,057 / 3,00 \cdot 100\% = 1,9\% \text{ der normalen Vorgabezeit.}$$

Für die Umlage der Anlaufzeiten müssen ca. 2% auf die Planzeiten zugeschlagen werden, die entsprechend auch die Kosten erhöhen.

b) Losgröße (Menge m in Stk/Los)

Bei der Kostenermittlung spielt in der Einzel- und Kleinserienfertigung die Losgröße oft eine sehr wichtige Rolle, bewegen sich doch die Rüstzeiten in Maschinenwerkstätten bei 10% bis 100%! der Ausführungszeiten. Hier müssen vor allem Aktionen betrieben werden, um die Rüstzeiten, und damit die Rüstkosten zu reduzieren, bevor solch hohe Rüstkostenanteile akzeptiert werden. Die Reduzierung der Rüstzeiten schafft die Möglichkeiten, in kleineren Losen wirtschaftlich zu fertigen und dabei den Lagerbestand erheblich abzubauen.

Bei losweiser Fertigung und stetigem Verbrauch steigen mit zunehmender Losgröße die losabhängigen Lagerkosten (Raum- und Zinskosten) proportional an (Abb. 19), während die Rüstkosten je Teil nach

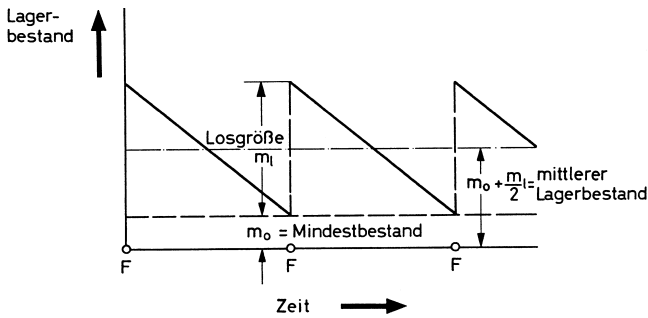


Abb. 19. Lagerbestand bei losweiser Fertigung (F) und stetigem Verbrauch

einer Normalhyperbel abfallen (Abb. 20). Aus dieser Gegenläufigkeit der beiden Kostenkurven ergibt sich die wirtschaftliche Losgröße m_w nach Andler [8] zu:

$$m_w = \sqrt{\frac{2 M k_r}{k_h p}}.$$

Dabei ist:

M = Bedarf in Stk/a

k_r = Rüstkosten in €/Los

k_h = Herstellkosten in €/Stk

p = Zins- und Lagersatz (für Verzinsung des eingelagerten Materials, für vermehrten Verlust und Ausschuss, für Lagerraum, Behälter usw.)

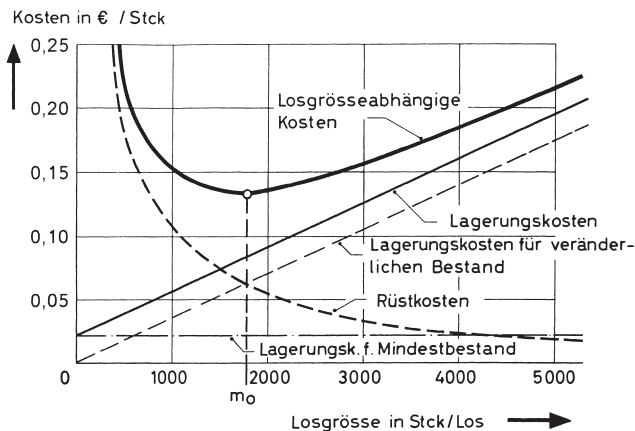


Abb. 20. Wirtschaftliche Losgröße von Schmiedeteilen

mit

$$p \approx 15 \% \text{ bis } 20 \% \text{ p. a. bzw.} \\ = 0,15/a \text{ bis } 0,20/a.$$

Die wirtschaftliche Losgröße kann durch kürzere Rüstzeiten, durch weniger Arbeitsvorgänge, Vereinheitlichung und durch niedrige Herstellkosten günstig beeinflusst werden.

Die Einbeziehung der Losgrößen und analog der wirtschaftlichen Bestellgröße in die Kostenrechnung muss heute über die EDV gehen. Jeder Versuch, die Disponenten zu veranlassen, die wirtschaftliche Losgröße über eine Gleichung, ein Diagramm oder eine Tabelle zu ermitteln, sind Zusatzaufgaben, statt derer stets eine „fragwürdige, qualifizierte Schätzung“ vorgezogen wird. Sind dagegen bei der Bedarfsermittlung in der EDV-Anlage die Einflussgrößen gespeichert und zur Rechnung genützt, wird der Beschaffungsvorschlag oder Losgrößenvorschlag meist gerne angenommen.

Anstelle der oben erwähnten „Andlerschen Losgrößenformel“ kann bei „stetiger Fertigung“ und „stetigem Verbrauch“ auch eine erweiterte Losgrößenformel nach Müller-Meerbach [9] eingesetzt werden. Außerdem sind noch weitere Einflussgrößen wie Werkzeugstandzahlen, Mindest- und Liefermengenvorgaben u. ä. bei der Losgrößenbestimmung erforderlich, was jedoch im Rahmen dieser Kalkulationsüberlegungen nicht weiter angesprochen werden soll.

Für die Fertigungskostenermittlung kann von den Fertigungszeiten ausgegangen werden, die mit dem bekannten, fertigungsspezifischen Faktor

$$f_r = \frac{\text{Fertigungszeiten} + \text{Rüstzeiten}}{\text{Fertigungszeiten}}$$

multipliziert werden und so die Auftragszeit T (= Brutto-Fertigungszeiten) ergeben. Dieser Ansatz verbessert die Rechnung erheblich und erspart detaillierte Rüstzeiterfassungen.

Beispiel zu 3.1.2b: Tabelle für wirtschaftliche Beschaffungsmenge

Als Orientierungshilfe zur Festlegung der wirtschaftlichen Beschaffungsmenge kann eine Gleichung dienen, die genau so hergeleitet wird und aufgebaut ist wie die „Andlersche Gleichung“ für die Ermittlung der wirtschaftlichen Losgröße. Sie kann in die Bestellrechnung der EDV eingebaut werden und direkt zu wirtschaftlich optimalen Bestellvorschlägen führen.

Daneben kann durch eine Tabelle das Gefühl für die wirtschaftlichen Bestellgrößen gefördert werden, wenn in der Tabelle die optimalen Bestellwerte in €/a und der Bestellrhythmus in Monatswerten angezeigt wird (siehe nächste Seite).

Die Gleichung für die wirtschaftliche Bestellmenge m_w lautet:

$$m_w = \sqrt{\frac{2 M k_b}{k_e p}}$$

mit

M = Bedarfsmenge in Stk/a

k_b = Bestellkosten in €/Best (= Prozesskosten pro Bestellung
 ≈ 60 bis 150 €/Bestellung, teilweise noch mehr)

k_e = Einstandspreis in €/Stk

p = Zins- + Lager- + Schwund- + ... + -Kostensatz in %/a
 $\approx 20\%$ p.a. = $0,20/a$.

Daraus ergibt sich ein Bestellrhythmus T von:

$$T = \frac{m_w}{M} = \sqrt{\frac{2 k_b}{M k_e p}}$$

Mit

$B = M k_e$ = Bestellwert in €/a lässt sich die Gleichung nach B auflösen.

Sie lautet dann:

$$B = \frac{1}{T^2} \cdot \frac{2 k_b}{p}$$

und mit den Zahlenwerten

$k_b = 100$ €/Best und

$p = 20\%$ p.a. ergibt sich:

$$B = \frac{1}{T^2} \cdot 1000 \text{ €} \cdot a.$$

Mit diesem Bestellwert wurde die nachfolgende Tabelle gerechnet.

Bestellvorschlag			Hilfstabelle		
Bestellwert €/a	Bestell- rhythmus Mo		Guppengrenze (von unten nach oben) Mo	T^2 a^2	Bestellwert B €/a
0 bis < 500	24		18	1,500	2,250
500 bis < 2000	12		9	0,750	0,563
2000 bis < 7000	6		4,5	0,375	0,141
7000 bis < 25000	3		2,5	0,208	0,043
25000 bis < 60000	2		1,5	0,125	0,016
60000 bis < 100000	1		= (1+2)/2	–	–
Ab 100000 € tagesgenau					

Die Tabelle besagt, dass für Produkte, die einen Bestellwert von beispielsweise $B = 7000 \text{ €/a}$ bis 25000 €/a haben, jeweils für ein Vierteljahr bestellt werden sollte.

Der dargestellte Bestellvorschlag geht davon aus, dass Einzelbestellungen erfolgen. Werden mehrere Produkte zusammen in Sammelbestellungen bezogen, können eventuell kleinere Bestellmengen beschafft werden.

Außerdem kann in bestimmten Fällen die wirtschaftliche Losgröße und die dazugehörige Materialbeschaffung in der wirtschaftlichen Bestellmenge zusammen betrachtet werden, damit das gemeinsame Optimum errechnet wird. Denn nur diese Gesamtheitsbetrachtung ist für das Unternehmen entscheidend.

Bei Bestell- und Abrufprogrammen, wie sie bei der Massenfertigung üblich sind, sind abgewandelte Ansätze zur Liefermengenoptimierung anzuwenden.

3.1.3

Leistungsgesetze

Unter Leistungsgesetzen sollen hier die Gesetzmäßigkeiten erfasst und für die Kostenbeurteilung ausgewertet werden, die von der betrieblichen Leistung = Produktionsmenge je Zeiteinheit, abhängen.

- Ein Unternehmen wird für eine bestimmte Produktionsleistung bzw. Kapazität erstellt. Es benötigt hierfür Investitionen, die zwar mit der zu schaffenden Kapazität (= höchstmögliche Produktionsleistung) ansteigen, jedoch sicher nicht proportional.

- Ferner ist bekannt, dass Unternehmen mit größerer Leistung bzw. Kapazität niedrigere Kosten je Produktionseinheit erwarten lassen, da sie mit mehr Automatisierung, Mechanisierung usw. Kostenvorteile erzielen können.
- Das dritte „Leistungsgesetz“ besagt, dass ein Unternehmen bei schlechterer Auslastung (Leistung < Kapazität!) zwar niedrigere Gesamtkosten, jedoch höhere Kosten je Produktionseinheit haben wird als ein „kleineres“ voll ausgelastetes haben kann.

Diese drei Kostengesetzmäßigkeiten sollen nachfolgend untersucht und in ihren Auswirkungen auf die Kostenermittlung bzw. auf die Kosten je Produktionseinheit ausgewertet werden.

a) Investitionen I und Anlagekosten K bei unterschiedlicher Kapazität

Bei der Planung von Industrieanlagen, Entsorgungsanlagen und ähnlichen Investitionsmaßnahmen wendet man heute vielfach Modellrechnungen an, die an ähnlichen, ausgeführten Anlagen hergeleitet wurden. So lässt sich zeigen, dass die Anschaffungspreise solcher Anlagen, wie auch ihr Flächenbedarf unterproportional zur Leistung der Anlagen ansteigen. Im Mittelwert steigen die Anlagenpreise etwa proportional zur Leistung hoch $2/3$. Also:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^v$$

mit $v \approx 2/3$.

Doppelte Produktionsleistung M_i bedingt danach nur ca. 60% höhere Investitionen I_i (vergl. Abb. 21 und Abb. 22).

Für unterschiedliche Technologien, oder, wenn die zu bauenden Anlage an ihre technologischen Grenzen kommen, so dass Mehrleistungen nur noch durch Parallelfertigung möglich ist, ändert sich der Exponent v . Daher ist es zweckmäßig, zu überprüfen, ob mit dem Mittelwert zu rechnen ist, oder ob ein anderer Exponent in diesem Fall anzuwenden ist.

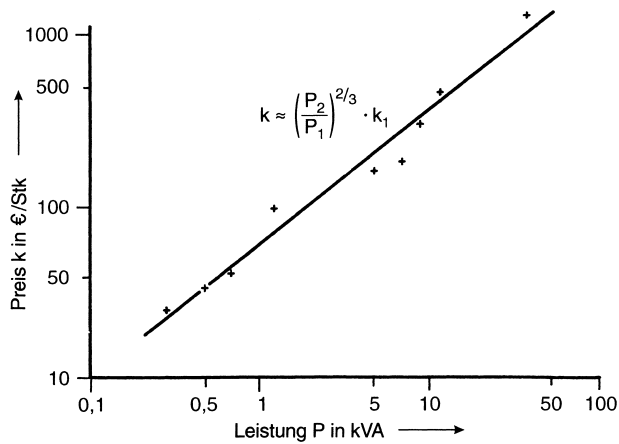


Abb. 21. Preise (k) und Leistungen (P) von Siliziumgleichrichtern

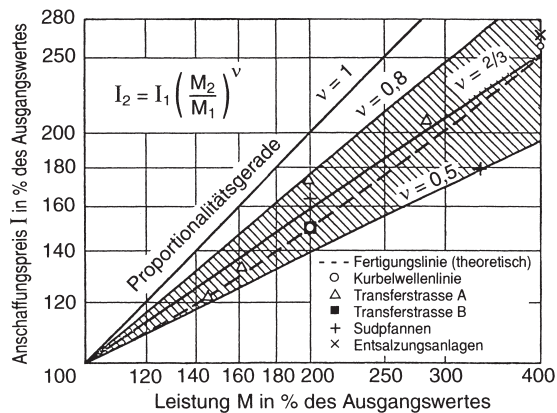


Abb. 22. Anschaffungspreise (I) und Produktionsleistung (M) von Maschinen und Anlagen

Beispiel zu 3.1.3 a: α : Stufung und retrograde Kostenrechnung für die Getriebereihe

Von der in Beispiel 3.1.1 (Seite 31) beschriebene Getriebereihe wurde die mittlere Größe (22,5 kW) technologisch (mit Stückliste und Arbeitsplänen) kalkuliert. Die Getriebereihe soll nun den Bereich von 10 kW bis 50 kW abdecken mit einem Leistungsstufensprung Π von

$$\Pi = \frac{P_i}{P_{i+1}} = \sqrt[n]{10} = R \quad n \approx 1,58.$$

(Der Wert Π liegt optimal zwischen 1,711 und 1,379, wie später in Abschn. 3.3.5 ermittelt wird.)

Annahme für hier: $\Pi = 1,58$

Die Anzahl n der Stufen ergibt sich nach der Beziehung

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{50 \text{ kW}}{10 \text{ kW}} \text{ und}$$

$$P_n = \Pi^n \cdot P_0$$

$$n = \frac{\log(P_n/P_0)}{\log \Pi}.$$

Mit diesen Zahlenwerten ergibt sich die Anzahl der Leistungsstufen

$$n = \frac{\log 5}{\log 1,58} = 3,51 \quad \Rightarrow 4 \text{ (5 Getriebe bilden 4 Stufen!)}$$

Die Stufung der 5 Getriebe ist in der untenstehenden Tabelle eingetragen.

Benennung	Einheit	Varianten				
		1	2	3	4	5
Leistung P	kW	10	15	22,5	33,8	50,6
Herstellkosten	€	206	270	354	464	608
Rüstkosten	€	36	19	20	21	45
HK1'	€	242	289	374	485	653

Ausgehend von den bekannten Kosten der mittleren Variante führen die Kosten der anderen Varianten nach der Gleichung

$$k_2 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/3} k_1$$

zu den in der Tabelle kursiv eingetragenen Werten. Die Rüstzeiten sind aus Aufgabe 3.1.1 übertragen.

Die HK I' (samt den Rüstkosten) weichen nur geringfügig von den Kosten ab, die mit den Wachstumsgleichungen für die gleiche Getriebe-
reihe errechnet wurden.

Beispiel zu 3.1.3 a: β : Degressionsexponent bei speziellen Anlagen

Der Investitionsbetrag I für Produktionsanlagen kann bei verschiedenartigen Anlagen (Chemie, Bauwesen, Maschinenbau usw.) unterschiedlich stark mit der Leistung P beziehungsweise M ansteigen. Daher ist es zweckmäßig, nicht immer den Durchschnittswert der Steigung von etwa 2/3 im logarithmischen Diagramm einzusetzen, sondern den Steigungsexponenten für die speziellen Anlagen zu suchen. Dies soll in der nächsten Aufgabe geschehen:

Von einer chemischen Anlage wurden bisher zwei Ausführungen gebaut mit folgenden aktualisierten Daten:

Leistung

$$P_1 = 10 \frac{t}{\text{Atg}} \quad \text{mit} \quad I_1 = 3,0 \text{ Mio €}$$

und

$$P_2 = 30 \frac{t}{\text{Atg}} \quad \text{mit} \quad I_2 = 5,0 \text{ Mio €}.$$

Eine neue Anlage mit

$$P_3 = 50 \frac{t}{\text{Atg}} \text{ soll konzipiert werden.}$$

Wie hoch ist der zulässige Investitionsbetrag, wenn die Kostendegression auch weiterhin gültig erscheint?

Die Grundgleichung für Investitionsbeträge in Abhängigkeit von der Produktionsleistung M lautet

$$I_2 = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^v \times I_1.$$

Da die Investitions- und Leistungswerte von 2 Anlagen bekannt sind, lässt sich der Wachstumsexponent n errechnen und für eine dritte Anlage der Investitionsbetrag interpolieren oder extrapolieren.

Die Zahlen der beiden bekannten Anlagen führen zu folgendem Ansatz:

$$\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^v$$

$$v = \frac{\log(I_2/I_1)}{\log(M_2/M_1)} = \frac{\log(5/3)}{\log(30/10)} = 0,465.$$

Für die neue Anlage ergibt dies:

$$I_3 = \left(\frac{M_3}{M_2}\right)^{0,465} \times I_2 = \left(\frac{50}{30}\right)^{0,465} \times 5 \text{ Mio €} = 1,268 \times 5 \text{ Mio €}$$

$$I_3 = 6,341 \text{ Mio €}.$$

Für diesen Wert muss jedoch noch überprüft werden, ob die Extrapolation gerechtfertigt ist. Dies setzt nämlich voraus, dass zwischen den einzelnen Anlagen kein wesentlicher Verfahrensunterschied besteht, der eventuell eine Unstetigkeit bei der Kostenentwicklung bringen könnte.

b) Fertigungskostendegression bei jeweils angepasster Kapazität

Untersuchungen an einer Großzahl von Objekten haben gezeigt, dass die Fertigungskosten sehr stark abfallen mit zunehmender Produktionsleistung der Fertigungsanlagen. Diese Kostendegression ist weitgehend unabhängig von der Produktart. Sie bewegt sich jedoch in einem sehr engen Rahmen um einen Mittelwert.

Sind $M_{1/2}$ die Produktionsleistungen von Industrieanlagen (in Mengenausstoß je Zeiteinheit), dann gilt für die optimal erreichbaren Fertigungskosten $k_{f1/2}$ die Beziehung:

$$k_{f2} = k_{f1} \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^\mu.$$

Mit $\mu = 0,322$ bedeutet das 20 % Fertigungskostendegression bei jeder Verdoppelung der Produktionsleistung (Abb. 23).

Wichtig ist, hier zu beachten:

- Es handelt sich bei dieser Kostendegression nicht um die bekannte Auslastungsdegression, die im nächsten Kapitel besprochen werden soll.
- Die Kurve zeigt nur die Fertigungskosten also die Fertigungslöhne und Fertigungsgemeinkosten. Nicht enthalten sind die Materialkosten, für

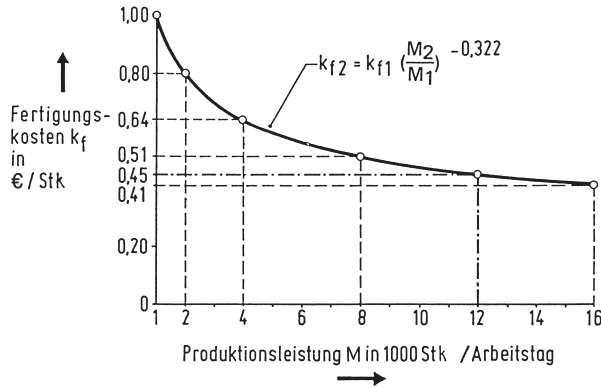


Abb. 23. Produktionsleistung und Kosten technischer Erzeugnisse

die mit zunehmendem Bedarf zwar auch eine Kostendegression zu erwarten ist. Diese liegt jedoch wesentlich niedriger, wenn das Material nicht individuell gefertigt wird, sondern einem allgemeinen Fertigungsprogramm entstammt, wie Normteile o. ä.

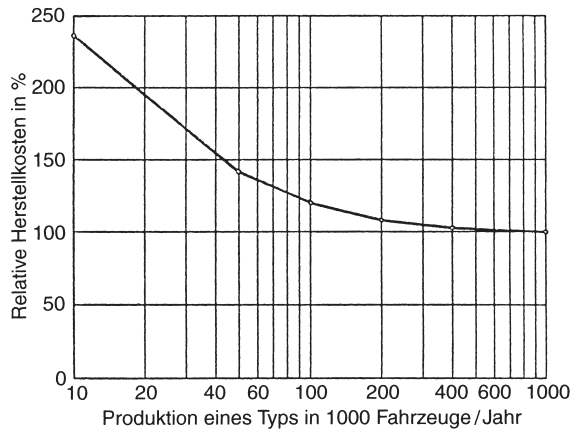
- Die Kostendegression geht gegen 0, wenn Mehrleistungen nicht mehr durch größere Anlagen, bessere Technologien oder bessere Organisationen usw. zu erreichen sind, sondern durch Vervielfachung der Anlagen wie z. B. bei Spinnereien, Webereien usw., wo 100 und mehr gleiche Maschinen parallel arbeiten.

In manchen Fällen schlägt die Fertigungskostendegression so stark durch, dass die gesamten Herstellkosten einen steilen Abfall aufweisen, wie dies Maxcy und Silverston für die Fahrzeugproduktion nachgewiesen haben (vergl. Abb. 24). Dort ist deutlich der starke Abfall der relativen Herstellkosten im Bereich der Kleinserienfertigung (wie z. B. Porsche mit ca. 20000 Fahrzeugen/a eines Types) zu erkennen, und der Rückgang der Degression ab ca. 200000 Fahrzeugen/a. In dem halblogarithmischen Diagramm flacht die Degressionkurve immer stärker ab, bis sie bei 400000 Stk/a fast in eine Waagrechte übergeht. (Dies sind Stückzahlen, wie sie etwa bei VW-Typen erscheinen).

Die technologische Grenze liegt also in der Nähe des Minutentakts im Zweischichtbetrieb (1 Jahr \triangleq 200 Arbeitstage \times 2 \times 500 min pro Arbeitstag).

Nach der starken Kostendegression bei Kleinserienfertigung ist etwa zu folgern: Ein Porsche in VW-Stückzahlen gefertigt und verkäuflich, könnte

Abb. 24. Kostendegression bei der Fahrzeugproduktion (nach Maxcy and Silverston [10])



zum halben Preis geboten werden, und ein Golf, in Porsche-Stückzahlen gefertigt, müsste etwa doppelt so teuer sein, wie er heute ist.

Die Grenzen für die Gültigkeit der Fertigungskostendegression sind für verschiedene Technologien in Abb. 25 aufgezeigt.

Technologischer Vorgang	Derzeitige Taktzeit bei minimalen Kosten min/Takt	Produktionsleistung beim relativen Optimum	
		TStk/Atg	MioStk/a
Urformen			
Großteile	2–1	0,5–1,0	0,12–0,24
Mittlere Teile	1–2	1,0–2,0	0,24–0,48
Umformen			
Großteile	0,2–0,5	5–20	1,2–4,8
Mittlere Teile	0,1–0,01	100–100	2,4–24,0
Spanen			
Großteile	1,2–0,8	0,8–1,3	0,20–0,30
Mittlere Teile	0,8–0,4	1,2–2,5	0,30–0,60
Fügen (Montieren)			
Aggregate von Hand	2–1	0,5–1,0	0,12–0,24
Endmontage von Hand	4–1	0,2–1,0	0,06–0,24
Automatisierte Montage	1–0,3	1,0–3,3	0,24–0,80

Abb. 25. Grenzen der Fertigungskostendegression mit Leistungszunahme

Beispiel zu 3.1.3b: Degression der Fertigungskosten und der Materialkosten

Eine Nähmaschinenfabrik produziert 400 Nähmaschinen/Atg in rationaler Weise für 100 €/Stk Fertigungskosten und 100 €/Stk Materialkosten, die je Verdoppelung der Materialbedarfsmenge um 5% reduziert werden können. Ein Konkurrent stellt 1000 Stk/Atg einer ähnlichen Maschine her.

Welchen Kostenvorteil hat dieser, wenn er seine Chancen voll ausnutzt?

Für die Fertigungskostendegression ist die bekannte Gleichung:

$$k_{f2} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{-0,322} \times k_{f1}$$

anzusetzen, und die Materialkosten haben einen Degressionsexponenten v , der sich ergibt aus der Beziehung

$$k_{m2} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{-v} \times k_{m1}$$

$$v = \frac{\log 0,95}{\log 2,00} = 0,074.$$

Für die Herstellkosten des Wettbewerbers gilt dann:

$$\begin{aligned} k_{hw} &= \left(\frac{1000}{400} \right)^{-0,322} \times 100 \text{ €/Stk} + \left(\frac{1000}{400} \right)^{-0,074} \times 100 \text{ €/Stk} \\ &= 167,89 \text{ €/Stk} = 84\% \text{ der eigenen Herstellkosten.} \end{aligned}$$

Die 16% Kostenvorteile des Wettbewerbers müssen entsprechende Aktionen auslösen!

c) Fertigungskostendegression durch Auslastungserhöhung bei Anlagen konstanter Kapazität

Die bekannteste Kostengesetzmäßigkeit ist die der Abhängigkeit der Kosten von der Auslastung bei Betrieben mit konstanter Kapazität.

In erster Näherung besteht für mittel- und langfristige Betrachtungen im Hinblick auf die Auslastung für die Fertigungskosten k_{fa} (€/Stk) die Beziehung (vergl. Abb. 26 und Abb. 27):

$$k_{fa} = k_{var} + k_{fix,100} \frac{a_{100}}{a}$$

mit

k_{var} = variable Fertigungskosten in €/Stk und

$k_{\text{fix}, 100}$ = fixe Fertigungskosten bei Vollausslastung (100 %) in €/Stk, sowie

a = Auslastung in % zur Vollausslastung ($a_{100} = 100\%$ Auslastung).

Also, je höher die Auslastung a , desto niedriger sind die Fertigungskosten je Stück bzw. je Produktionseinheit. Die Auslastungsdegression ist eine der wirkungsvollsten Komponenten für die Kostenbeeinflussung.

Da für jede zusätzliche Produktionseinheit nur die Grenzkosten zusätzlich anfallen und diese bis zur Vollausslastung nur etwa den variablen bzw. proportionalen Kosten entsprechen, scheinen Maßnahmen, um gute bzw. volle Auslastung zu sichern, äußerst interessant, selbst dann, wenn zusätzlich abzusetzende Produkte keine volle Kostendeckung einbringen. Mehr als oder mindestens die Grenzkosten (also einen Deckungsbeitrag ≥ 0) sollten solche Aufträge jedoch stets ergeben, sonst werden Vermögenswerte verzehrt.

Abb. 26. Kosten je Zeiteinheit (€/Mo) in Abhängigkeit von der Auslastung

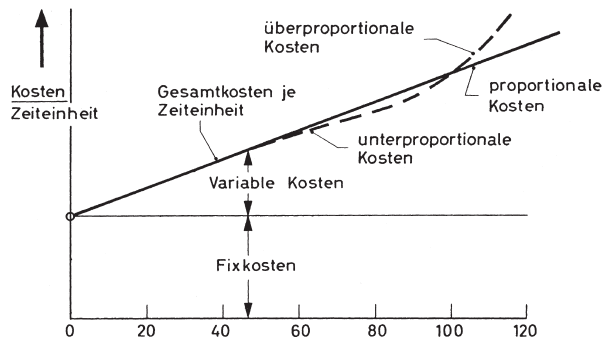
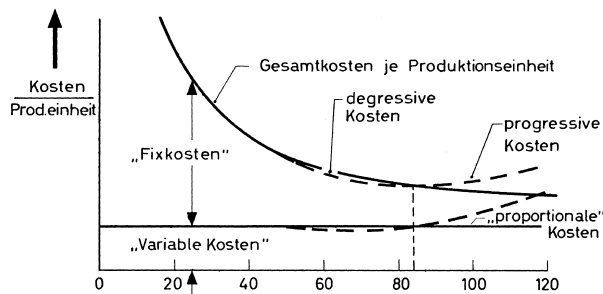


Abb. 27. Kosten je Produktionseinheit (€/Stk) in Abhängigkeit von der Auslastung



Das Denken in Grenzkosten und Deckungsbeiträgen ist für kurzfristige Überlegungen, also auslastungs- und beschäftigungspolitisch, interessant. Langfristig muss jedoch angestrebt werden, dass von allen Aufträgen zusammen und von den meisten Aufträgen individuell eine Vollkosten-deckung erreicht wird.

Hierzu ist erforderlich definitionsgemäß der Kostenermittlung die „normale“ Auslastung zugrunde zu legen. Aber was ist diese „normale“ Auslastung? Legt man die jeweilige Ist-Auslastung der Rechnung zugrunde, dann werden in schlechten Jahren die Fixkosten auf wenige Stunden umgelegt, wodurch die Gemeinkostensätze bzw. die „Stundensätze“ sehr hoch erscheinen, was dazu führt, dass oftmals die wenigen Aufträge, die sich bieten, „hinauskalkuliert“ werden. Umgekehrt erscheinen die Kostensätze in Jahren guter Auslastung sehr niedrig, so dass Gefahr besteht, dass man zu viele Aufträge „hereinkalkuliert“ und noch mehr Terminschwierigkeiten entstehen.

Aus diesem Grunde muss der „Normalauslastung“ eine Periode von etwa 5 Jahren (ab heute in die Zukunft!) zugrunde gelegt werden, wobei dieser Zeitraum sowohl Hoch- wie auch Tiefzeiten beinhalten soll. Die Verfolgung der Liquidität, parallel zur Wirtschaftlichkeit ist jedoch bei dieser Denkweise unbedingt erforderlich.

Beispiel zu 3.1.2c: Gewinn als Funktion der Auslastung

Ein Industriebetrieb wirke in einem Markt mit ziemlich stabilen Preisen und seine Kostenstruktur sei sehr stabil (damit kann mit dem linearen Modell der Kostenaufteilung in fixe und variable Anteile gerechnet werden).

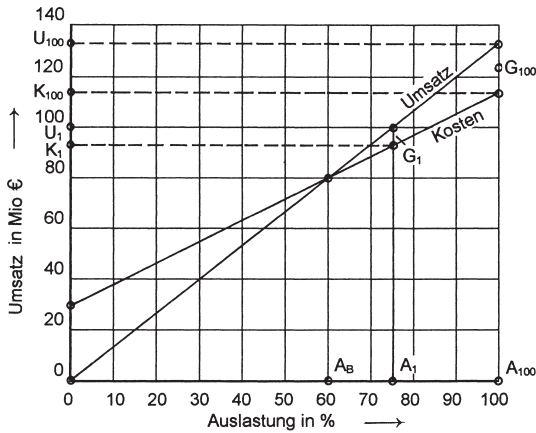
Folgende Daten liegen vor:

Umsatz im 1. Jahr	U_1	= 100 Mio €
Fixkosten	K_{fix1}	= 30 Mio €
Nettogewinn (vor Steuer)	G_1	= 7,5 Mio €
Auslastung	A_1	= 75 % der Vollauslastung.

Kostensteigerungen lassen sich weitgehend durch Absatz-Preiserhöhungen auffangen.

- Wie sieht das Breakeven-Diagramm aus? (Grafische Darstellung.)
- Bei welcher Auslastung und bei welchem Umsatz liegt der Break-even point?
- Welcher Gewinn wäre zu erwarten, wenn, unter sonst gleichen Bedingungen, das Unternehmen zu 100 % ausgelastet wäre?

Zu a)



Zu b)

Aus dem Diagramm ergibt sich folgende Beziehung:

$$G_1 : K_{fl} = (A_1 - A_B) : A_B$$

$$A_B = \frac{A_1}{\frac{G_1}{k_{fl}} + 1} = \frac{75\%}{\frac{7,5}{30} + 1}$$

$$A_B = 60\%$$

Der Break even Point A_B liegt bei 60% Auslastung d.h. bei einem Umsatz von $(60/75) \cdot 100 \text{ Mio €} = 80 \text{ Mio €}$.

Zu c)

Bei 100% Auslastung ergibt sich ein Gewinn nach der Gleichung:

$$G_{100} : G_1 = (A_{100} - A_B) : (A_1 - A_B)$$

$$G_{100} \cdot \frac{A_{100} - A_B}{A_1 - A_B} \cdot G_1 = \frac{100 - 60}{75 - 60} \cdot 7,5 \text{ Mio €} = 20 \text{ Mio €}$$

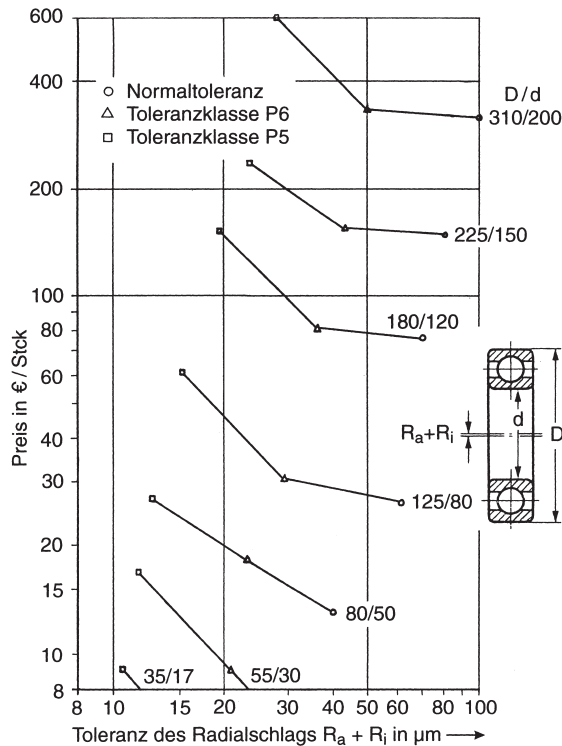
Bei Vollausslastung würde der Gewinn 20 Mio €, fast das Dreifache, betragen!

3.1.4

Toleranzgesetze

Beim Schätzen und Vergleichen zum Ermitteln von Kosten sind Toleranzunterschiede bei den Vergleichsobjekten eine wichtige Einflussgröße.

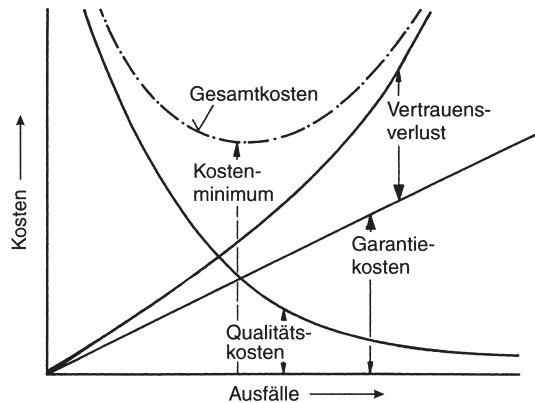
Abb. 29. Preise von Kugellagern in Abhängigkeit von der Toleranz



Bohrungstoleranzen. Daher ist es auch üblich, dass bei den Paarungen die Bohrungen jeweils 2 bis 3 IT-Toleranzstufen grober vermaßt werden als die zugehörigen Wellendurchmesser. Jede IT-Stufe der Genauigkeit bringt für den toleranzbestimmenden Arbeitsvorgang bei Wellen ca. 20 % bei Bohrungen ca. 30 % Mehrkosten, wenn dadurch Verfahrensänderungen bedingt sind.

Im Rahmen der Toleranzbetrachtungen sind auch die Fragen der Qualität allgemein anzugehen. Zero-Defects, 0-Fehler-Programm und ähnliche Aktionen, die darauf hinzielen, die Fehlerrate, den Ausschuss und die Nacharbeit zu reduzieren, benennen das Ideal als Ziel. Kein Fehler, 100 % Genauigkeit, Toleranz 0 sind zwar Visionen, jedoch keine realen oder gar wirtschaftlichen Ziele. Fehler verursachen Kosten: Je mehr Fehler, um so höhere Kosten für Garantieleistungen und sonstige Gewährleistungskosten, wobei der Vertrauensverlust meistens ein Vielfaches dieser direkten Fehlerkosten ausmacht. Keine Fehler verursachen aber auch Kosten: Je

Abb. 30. Qualität und Kosten



weniger Fehler, um so höhere Kosten für Fehlerverhütung und Fehlervermeidung. Je weniger Fehler, um so mehr muss aufgewandt werden, um auch den vorletzten oder gar den letzten Fehler zu verhindern. Die Kostenkurve geht hier steil – praktisch hyperbolisch – nach oben (Abb. 30).

Die Summenkurve aus Gewährleistungs- und Fehlervermeidungskosten hat vor „Zero“ ein Minimum. Und ein seriöses Unternehmen strebt an, leicht links von diesem Minimum, mit seiner Fehlerquote zu liegen. Je komplexer die Produkte, desto geringer darf die Ausfallrate sein, wenn das Gesamterzeugnis zufriedenstellend sein soll, und (fast) 0-Fehler werden verlangt bei Lebensgefahr!

Beispiel zu 3.1.4: Kosten enger Toleranzen

Wie verändern sich die Kosten für die Herstellung eng tolerierter Wellen und eng tolerierter Bohrungen für folgenden Auftrag:

Welle und Bohrung bearbeiten
 Ausgangsmaterial St C45 (roh)
 Länge $L = 50 \text{ mm}$
 Durchmesser $D = 50 \text{ mm}$
 Losgröße: $n = 100 \text{ Stk}$

Die Fertigung erfolgt bei der

Welle auf NC-Drehmaschine
 sowie zum Teil

auf Einstech-Schleifmaschine
 und bei der Bohrung auf BAZ

mit Platzkosten von 2,65 €/min

mit Platzkosten von 1,65 €/min

mit Platzkosten von 2,65 €/min.

Folgende Kosten für den toleranzbestimmenden Arbeitsvorgang ergeben sich dabei:

Kosten in €/Los für die „Feinarbeit“ an 100 Wellen bzw. Bohrungen

Toleranz	▽	h (H) 11	h (H) 9	h (H) 7
→ μm	300	160	60	25
Welle €/Stk	50	56	57	58
Bohrung €/Stk	344	583	768	954

Die engen Bohrungstoleranzen sind deutlich teurer als die Wellentoleranzen.

Auch lässt sich zeigen, dass die Preise von Kugellagern, Widerständen, Kondensatoren oder ähnlicher Präzisionsteile sehr stark, ja häufig direkt umgekehrt proportional zur Toleranzforderung verlaufen, wie Abb. 29 zeigt.

Diese Kostentendenzen und -gesetzmäßigkeiten können für komplexe und umfangreiche Struktur- und Planungsüberlegungen recht gut eingesetzt werden. Sie gelten für die Großzahl, während im Einzelfall verschiedentlich wesentliche Abweichungen oder Sprünge im Verlauf zu beobachten sind.

3.1.5

Sonstige Kostenfunktionen

Zahlreiche weitere Kostengrößen und Vertriebs- bzw. Absatzvorteile wie Vereinheitlichung, Auftragsgröße, Selbstwerbung und dergleichen bewirken, neben der starken Kapitalkraft, dass Großunternehmen gegenüber kleineren Konkurrenten wirtschaftliche Überlegenheit erwarten können. Weiterhin ergeben sich für multinationale Unternehmen Wettbewerbsvorteile durch Gewinnverlagerungen.

Ein Beispiel für die Auswirkungen der Kostendegressionen zeigen die Gewinnzahlen der US-Automobilhersteller. Deutlich ist das Wachsen der Gewinnchancen mit der Unternehmensgröße bzw. Produktionsleistung zu erkennen.

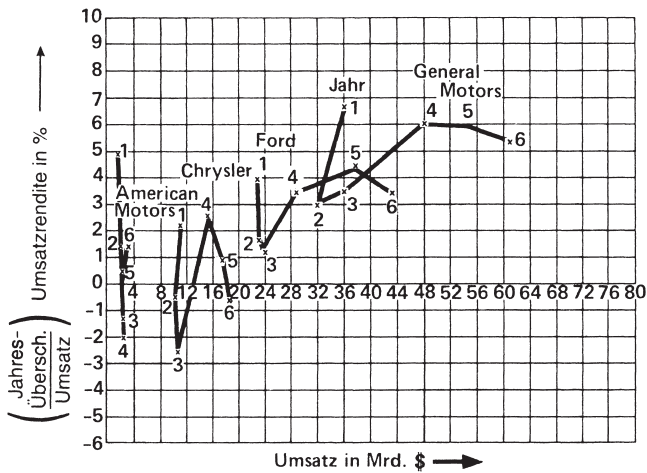


Abb. 31. Korrelation zwischen Umsatz und Umsatzrendite bei den Pkw-Herstellern der USA in der Sättigungsphase

Kesselring hat diesen Zusammenhang in VDI R 2225 in der Gleichung für die Gewinnchance G dargestellt:

$$G = 4,2 \left(\frac{M}{M_0} \right)^{1/3} \% \text{ des Umsatzes}$$

mit M = Produktionsleistung in Stk/a

und $M_0 = 10^6$ Stk/a, die Grenze der „Leistungsdegression“.

Diese Gleichung berücksichtigt nicht, dass ganz kleine Leistungen bei gleichem Preis nur mit Verlust zu erbringen sind. Die Gleichung muss daher in die Form abgewandelt werden:

$$G = -a + b \left(\frac{M}{M_0} \right)^{1/3}$$

wobei a und b als Festwerte nach Erfahrungswerten zu ermitteln sind.

Legt man in Abb. 31 bei den 3 größeren amerikanischen Automobilherstellern eine Kurve durch die Umsatzmittelwerte der 6 Vergleichsjahre, dann schneidet diese bei etwa 14 Mrd. \$ Umsatz die 0-Linie und steigt danach unterproportional zum Umsatz an. Es gibt damit deutlich eine untere Grenze der Produktionsleistung unterhalb derer langfristig kein Überleben möglich ist, sofern nicht aus politischen Gründen ein Unternehmen gehalten „wird“. (American Motors kann, wegen seines spezifischen Fahrzeugprogramms nicht in die Betrachtung einbezogen werden!)

Bei der Kostenrechnung und Kostenbeurteilung ist damit die Einschätzung der relativen Unternehmensgröße von wesentlicher Bedeutung – denn, was ein Großer kann, muss einem Kleinen noch lange nicht möglich sein!

3.1.6

Prinzipwechsel ermöglicht Kostensprünge

Das Schätzen von Kosten wird dann zum Problem, wenn technische oder technologische Alternativen zu vergleichen sind. Große Entwicklungssprünge, verbunden mit erheblichen Kostensenkungen, werden meistens durch „Prinzipwechsel“ ausgelöst. Wenn ein neues Konzept gefunden wird, wenn neue physikalisch-technische Wege beschritten werden, wenn neue Technologien entwickelt und auf großer Breite eingesetzt werden, dann ist ein solcher Rationalisierungssprung zu erwarten.

Bei neuen Produkten brachte der Übergang vom mechanischen Antrieb zum elektrischen, von Schwachstromsteuerungen auf elektronische Steuerungen, von Röhren über Transistoren zu integrierten Schaltkreisen usw. jeweils einen Entwicklungssprung, der durch bessere Technologie oder wirtschaftlicheren Betriebsmitteleinsatz bei alter Technik nicht einzuholen wäre (Quantensprung).

Damit rangiert das „Prinzipsuchen“, das Ausbrechen aus konventionellen Lösungen an erster Stelle allen Suchens nach kostengünstigen Konstruktionen. Das „Inzweifelziehen“ der Aufgabenstellung, das „Denken in Alternativen“ bereits beim Pflichtenheft, bei Grundsatzüberlegungen, beim Lösungsprinzip, bei der Technologie, das sind alles Ansatzpunkte der Produktrationalisierung, die ausgereizt sein müssen, bevor die Entwurfsarbeit beginnt, und damit die Kalkulation ihre Basis erhält.

Bei technisch unterschiedlichen Lösungen müssen Kostenvergleiche ins Detail gehen, da technische Verbesserungen nicht unbedingt Verteuerungen bedeuten, wie der Übergang von der Zweigelenk-Pendelachse zur Eingelenk-Pendelachse von Abb. 32 zeigt. Auch Sicherheits- oder Genauigkeitsverbesserungen lassen sich oftmals mit technischen Neuerungen bei sinkenden Kosten erreichen, wie der Übergang von „Unruh-“ zu „Quarz-Taktgebern“ bei Uhren zeigt oder Drehstromlichtmaschinen, elektronische Zündungen sowie schlauchlose Reifen bei Fahrzeugen.

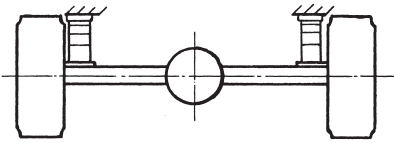
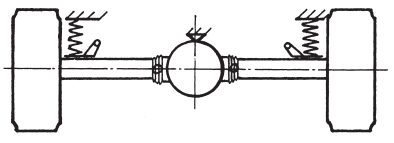
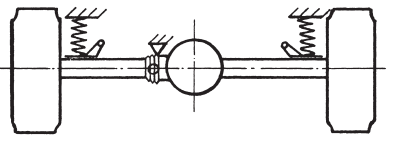
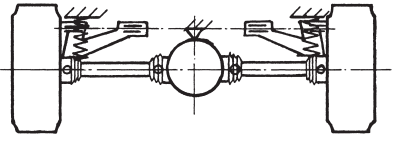
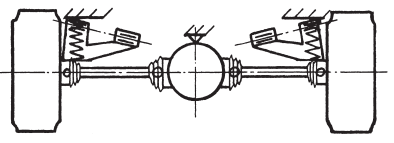
		Kosten	Fahr- eigen- schaf- ten	Sicher- heit
- Starrachse		100	100	100
- Zweigelenk-Pendelachse		130	120	105
- Eingelenk-Pendelachse		120	125	130
- Längslenker-achse		140	130	140
- Schräg- lenkerachse		142	140	150

Abb. 32. Unterschiedliche Lösungsprinzipien mit Kosten, Fahreigenschaften und Sicherheit

Beispiel zu 3.1.6: Prinzipwechsel zur Produktverbesserung

Im Bereich des Automobilbaus dienen u. a. nachfolgend aufgeführte Prinzipwechsel den dargestellten Zielsetzungen.

Ziel	Prinzipwechsel im Automobilbau
Leistungssteigerung *	Drehzahlsteigerung, Volumenvergrößerung, Brennraumoptimierung, 2. Nockenwelle, 4 Ventile/Zylinder
Gewichtseinsparung	Aluminium für Kurbelgehäuse, Zylinderkopf und Kühler, Dünnwandiger Guss, Leichtbauweise
Verbrauchsreduzierung	Brennkammergestaltung, Hochverdichtung, Mehrstufenvergaser, Dieselprinzip
Kostensenkung	Wechselstrom-Lichtmaschine, Sparbau, Materialsubstitution, Integralbauweise. Selbsttragende Karosserie

* Zur Erhöhung der Beschleunigung kann an Stelle einer Leistungserhöhung auch eine Gewichtsreduzierung vorgenommen werden. Auch in allen anderen Branchen sind ähnliche Prinzipwechsel aufzufinden und in voller Breite einzusetzen.

3.1.7

Berücksichtigung von Sondereinzelkosten der Fertigung

Werden für die Fertigung zu kalkulierender Produkte individuelle Betriebsmittel (Sonder-Betriebsmittel) benötigt, müssen deren Kosten in Form von „Sondereinzelkosten der Fertigung“ den Fertigungskosten 1 zugeschlagen werden. Die Umlage erfolgt

- bei reiner Einzelfertigung direkt auf den Auftrag,
- bei kurzfristiger Serienfertigung anteilig auf die erwartete Stückzahl und

- bei langlaufenden Serien oder Massen mit Hilfe des ermittelten Kapitaldienstes, das sind Abschreibungen und Zinsen für Sonderwerkzeuge, Sondermaschinen usw.

Am Beispiel einer Investition für eine Sondermaschine werden verschiedene Arten zur Ermittlung des Kapitaldienstes erklärt:

Beispiel zu 3.1.7: Sondereinzelkosten der Fertigung für langlebige Investitionen

Bei langlebenden Investitionen, die ganz bestimmten Produkten anzulasten sind, darf nicht nur der Investitionsbetrag I, sondern es müssen ebenfalls die Zinsen aus der Investition umgelegt werden. Für eine Sondermaschine, die etwa 10 Jahre genutzt werden kann, wird die Ermittlung des Kapitaldienstes erklärt: Folgende Werte sind gegeben.

Beispiel:

Kapitaldienst für Maschine

Investitionsbetrag	I	=	100 T€
Restwert	L	=	0 T€
Nutzungsdauer	n	=	10 Jahre (a)
Zinssatz	i	=	10 %/a

1. Abschreibungen A bzw. Tilgung des Kapitals:

$$A = \frac{I}{n} = \frac{100 \text{ T€}}{10 \text{ a}} = 10 \text{ T€/a}$$

oder $10\% \text{ p.a.} = 0,10/\text{a} = \text{Abschreibungssatz für } n = 10 \text{ Jahre.}$

Der Tilgungsfaktor ist damit $\acute{a} = \frac{1}{n} = 10\%/\text{a} = 0,10 \text{ p.a.}$

2. Verzinsung Z des gebundenen Kapitals

(bei stetiger Verzinsung, ohne Zinseszins):

$$Z = \frac{I}{2} \times i = \frac{100 \text{ T€}}{2} 0,10 \text{ p.a.} = 5 \text{ T€/a}$$

oder $Z = I \times \frac{i}{2} = 100 \text{ T€ } 0,05/\text{a} = 5 \text{ T€/a}$

Der Zinsfaktor ist damit $z = \frac{i}{2} = 0,05 \text{ p.a.}$

3. Kapaldienst $KD = \text{Tilgung und Zinsen}$

(bei stetiger Verzinsung, ohne Zinseszins)

$$KD = I \times \left(\frac{1}{n} + \frac{i}{2} \right) = 100 \text{ T€ } 0,15/a$$

$$KD = 15 \text{ T€/a}$$

4. Kapaldienst mit Kapitalwiedergewinnungsfaktor κ

(bei nachschüssiger Verzinsung mit Zins und Zinseszinsen)

$$KD = I \times \kappa$$

$$\text{Kapitalwiedergewinnungsfaktor } \kappa = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, (\kappa \rightarrow \text{sprich Kappa})$$

Der Kapitalwiedergewinnungsfaktor $\kappa_{10a,10\%} = 0,16275/a$
(siehe κ -Tabelle!)

$$KD = 100\,000 \text{ €} \times 0,16275/a = 16\,275 \text{ €/a}.$$

Zur Belastung der Erzeugnisse mit Sondereinzelkosten der Fertigung muss dieser Kapaldienst noch auf die jährliche Produktionsmenge umgelegt werden, dann sind die Kosten weitgehend verursachungsgerecht verteilt.

3.1.8**Verfahrensvergleiche**

Im Rahmen der Vorkalkulationen muss oftmals entschieden werden, nach welchen Fertigungsverfahren bestimmte Werkstücke zu fertigen sind oder ob die Werkstücke gar auswärts zu beschaffen sind. Wirtschaftlichkeitsrechnungen und Verfahrensvergleiche sind hierbei einzusetzen.

Für die Herstellung von Werkstücken gibt es meist verschiedene Verfahren: Soll eine Fläche gehobelt, gefräst oder schrupp-geschliffen werden? Sofern Stabilität, Oberflächengüte und Toleranzen ausreichen, kann das Verfahren frei gewählt werden.

Zur Auswahl des optimalen Fertigungsverfahrens dient der Verfahrensvergleich, mit dem festgestellt wird, welches Fertigungsverfahren die Funktionsforderungen mit den niedrigsten Kosten erfüllt.

Für die Überprüfung sind drei Situationen zu unterscheiden:

3.1.8.1

alt – alt

Für zwei vergleichbare Verfahren sind innerhalb des Planungszeitraums Betriebsmittel (= Maschinen, Vorrichtungen, Werkzeuge usw.) mit freier Kapazität vorhanden.

Unabhängig vom Platzkostensatz sind die Betriebsmittel mit den niedrigsten Grenzkosten k_{gr} bis zur Volllauslastung einzusetzen.

Entscheidung für Verfahren 2, wenn:

$$k_{gr2} < k_{gr1} \text{ ohne Rücksicht auf die Fixkosten } k_{fix}.$$

Beispiel zu 3.1.8.1: Verfahrensvergleich bei freier Kapazität

Für die Ausführung eines Auftrags stehen zwei Anlagen zur Verfügung. Beide Anlagen haben freie Kapazität, sind anderweitig nicht einzusetzen und Personal ist frei verfügbar.

Auf welcher Anlage ist zu fertigen, wenn die nachfolgend benannten Werte vorliegen?

Benennung	Zeichen	Einheit	Numerisch gesteuerte Maschine	Hand-gesteuerte Maschine
Volle Platzkosten	K_p	€/h	200	100
Variable Platzkosten	K_{pv}	€/h	70	60
Auftragszeit	T	h	100	150

Auftragskosten K_a

$$\text{Vollkosten} : K_{a1} = 100 \text{ h} \times 200 \text{ €/h} = 20\,000 \text{ €}$$

$$: K_{a2} = 150 \text{ h} \times 100 \text{ €/h} = 15\,000 \text{ €}$$

$$\text{Grenzkosten} : K_{gr1} = 100 \text{ h} \times 70 \text{ €/h} = 7\,000 \text{ €}$$

$$: K_{gr2} = 150 \text{ h} \times 60 \text{ €/h} = 9\,000 \text{ €}$$

Da nur über die Grenzkosten zu entscheiden ist, ist es zweckmäßiger, auf der NC-Maschine (Maschine 1) zu arbeiten, obgleich formal in der Vollkostenrechnung 5000 € mehr für diese Bearbeitung verrechnet wird. Am Jahresende wird sich zeigen, dass 2000 € weniger Kosten angefallen sind, wenn die NC-Maschine für diesen Auftrag eingesetzt war und nicht 5000 € mehr, wie es hier die Vollkostenrechnung ausweist.

Zur Entscheidung, auf welcher Maschine zu fertigen ist, muss eindeutig die Grenzkostenrechnung dienen. Die Preisgestaltung und Beurteilung muss zwar auch auf den Grenzkosten basieren. Jedoch wird stets noch überprüft, inwieweit die gesamten Kosten, also die Vollkosten auch bei einem einzelnen Auftrag oder Produkt gedeckt sind. Unterdeckung muss zwar nicht immer vermieden werden, jedoch stets bekannt sein, damit rechtzeitig gegengesteuert werden kann.

3.1.8.2

alt – neu (*Rationalisierungsinvestitionen*)

1. Allgemein

Beim Vergleich zwischen einem Verfahren, für das Betriebsmittel vorhanden sind und einem Verfahren, für das Betriebsmittel zum Investitionsbetrag I_2 für die Produktionsleistung von n Stk/a zu beschaffen sind, ist für das neue Verfahren zu entscheiden, wenn,

- unter Vernachlässigung von Zinsen:

$$k_{gr2} + \frac{I_2}{n} < k_{gr1} \text{ mit } n = \text{Gesamte Produktionsmenge (Stückzahl) oder,}$$

- unter Einbeziehung von Zinsen

$$k_{gr2} + \frac{I_2 \times \kappa}{M} < k_{gr1} \text{ mit } M = \text{Produktionsmenge je Jahr (Stk/a)}$$

$$\text{und } \frac{I_2 \times \kappa}{M} = \text{Kapitaldienst pro Stück}$$

aus der Investition I_2 und κ , dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor.

Beispiel zu 3.1.8.2: Grenzmenge für Riemenscheiben

Eine Riemenscheibe für einen Kompressor war als Gusskonstruktion eingeführt.

Das Gussrohteil wurde für $k_{m1} = 1,90 \text{ €/Stk}$ von auswärts beschafft,

und die Eigenbearbeitung verursachte $k_{fg1} = 3,30 \text{ €/Stk}$ Grenzkosten bzw. $k_{fv1} = 6,30 \text{ €/Stk}$ Vollkosten.

Eine Spezialfirma bot für $k_{var2} = 2,70 \text{ €/Stk}$ eine fertige Blechriemenscheibe gleicher Qualität an, für die jedoch ein

Investitionsbetrag erforderlich war von $I_2 = 20000 \text{ €}$ Werkzeugkosten.

- Wo liegen die beiden Grenzmengen?
- Welche der beiden Grenzmengen ist entscheidungsrelevant?
- Wie ändert sich die Grenzmenge M_{gr} , wenn von einer Bedarfsleistung $M = 4000$ Stk/a und einem Investitionszinssatz $i = 15\%$ p.a. ausgegangen wird?

Jahr	1	2	3	4
Kapitalwiedergewinnungsfaktor	1,150	0,615	0,438	0,350

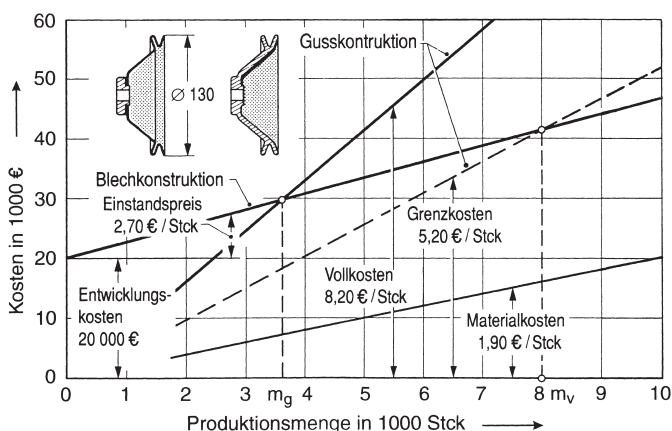


Abb. 33. Produktionsmenge und Kosten von Riemenscheiben

Lösung:

Graphisch:

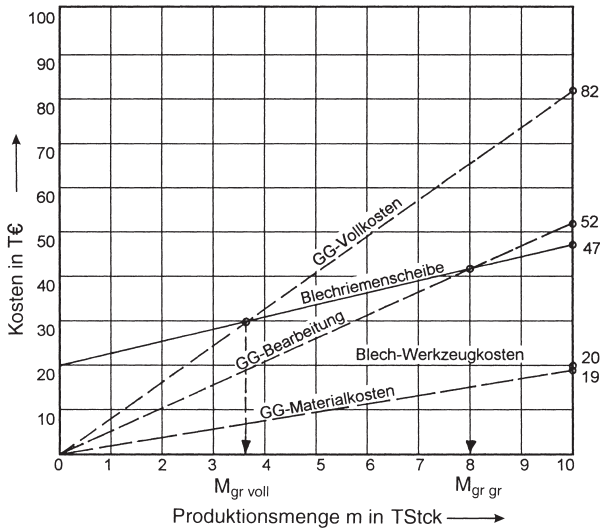
Bei 0 und 10000 Stück sind die Werte aus der Aufgabenstellung eingetragen.

Daraus ergeben sich zwei Grenzmengen.

Die Grenzmenge für den Vollkostenansatz liegt bei $M_{gr\ voll} = 3600$ Stk und

die Grenzmenge für den Grenzkostenansatz ist $M_{gr\ gr} = 8000$ Stk,

jeweils ohne Zinsen. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt bei der nachfolgenden rechnerischen Lösung.



Rechnerisch:

Zu a) Unter Vernachlässigung der Zinsen für die Investition lässt sich die Ausgangsgleichung für die Kostengleichheit bei der Grenzmenge m_{gr} in der Form darstellen:

$$I_1 + M_{gr} k_{var1} = I_2 + M_{gr} k_{var2}$$

$$M_{gr} = \frac{I_2 - I_1}{k_{var1} - k_{var2}}$$

$$I_1 = 0 \text{ €}$$

$$I_2 = 20000 \text{ €}$$

$$k_{var1} = 8,20 \text{ € (Vollkosten)}$$

$$k_{var1} = 5,20 \text{ € (Grenzkosten)}$$

$$k_{var2} = 2,70 \text{ €}$$

Vollkostenbetrachtung :

$$M'_{gr} = \frac{20000 \text{ €}}{(8,20 - 2,70) \text{ €/Stk}} = 3636 \text{ Stk.}$$

Grenzkostenbetrachtung:

$$M_{gr} = \frac{20000 \text{ €}}{(5,20 - 2,70) \text{ €/Stk}} = 8000 \text{ Stk.}$$

Die Grenzmengen errechnen sich zu $M'_{gr} = 3636 \text{ Stk}$ bzw. $M_{gr} = 8000 \text{ Stk}$.

Zu b) Ist die bisher für die Eigenbearbeitung eingesetzte Maschine anderweitig nicht einsetzbar, dann können nur die Grenzkosten eingegeben werden. Es gilt dann die Grenzmenge von 8000 Stk.

Ist die bisher für die Eigenbearbeitung eingesetzte Maschine jedoch anderweitig voll auszulasten oder sind gar erforderliche Investitionen durch die Umstellung zu vermeiden, dann sind außer den Grenzkosten auch die Opportunitätskosten dieser Maßnahme der alten Fertigung anzulasten, so dass eine wesentlich niedrigere Grenzmenge erforderlich ist. Die Vollkostenrechnung zeigt jedoch kein verwendbares Ergebnis.

Zu c) Kostengleichheit unter Beachtung von Zinsen:

$$M \times k_{\text{var1}} = I_0 \times \kappa + M \times k_{\text{var2}}$$

$$\kappa = \frac{M (k_{\text{var1}} - k_{\text{var2}})}{I_0} = \frac{4000 \text{ Stk } (5,20 - 2,70) \text{ €/Stk}}{20000 \text{ € a}}$$

$$\kappa = 0,500/\text{a.}$$

Interpolation:

$$n = \left(2 + \frac{0,615 - 0,500}{0,615 - 0,438} \right) \text{ a}$$

$$n = 2,65 \text{ a} \rightarrow 10600 \text{ Stk.}$$

Die Differenz zu 8000 Stk ist schon bemerkenswert.

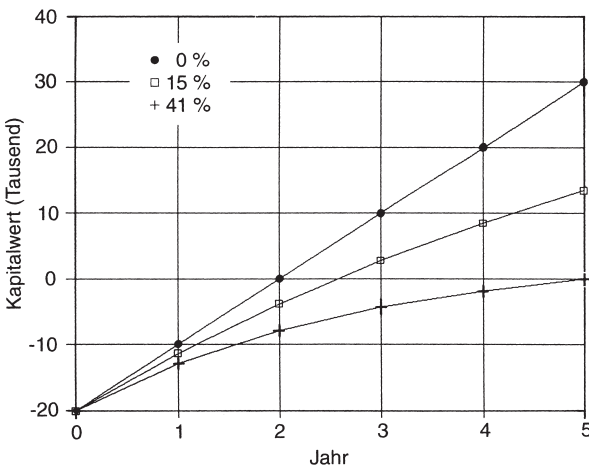


Abb. 34. Tilgungsdiagramm für Riemenscheibenwerkzeug für $i = 0\%$, 15% und 41% p.a. Verzinsung

2. Rationalisierung durch Zeiteinsparungen

Sofern bei den Grenzkosten nur Lohn und Lohnnebenkosten verschieden sind, können Investitionsgrenzwerte I_{gr} errechnet werden, für die gilt:

$$I_{gr} = \frac{\Delta L (1 + f_n)}{\kappa}$$

mit

ΔL = Lohndifferenz zwischen alternativen Arbeitsvorgängen in €/a,

f_n = Lohnnebenkostenfaktor (ca. 0,80 bzw. 80 % von L),

κ = Kapitalwiedergewinnungsfaktor (Tabelle).

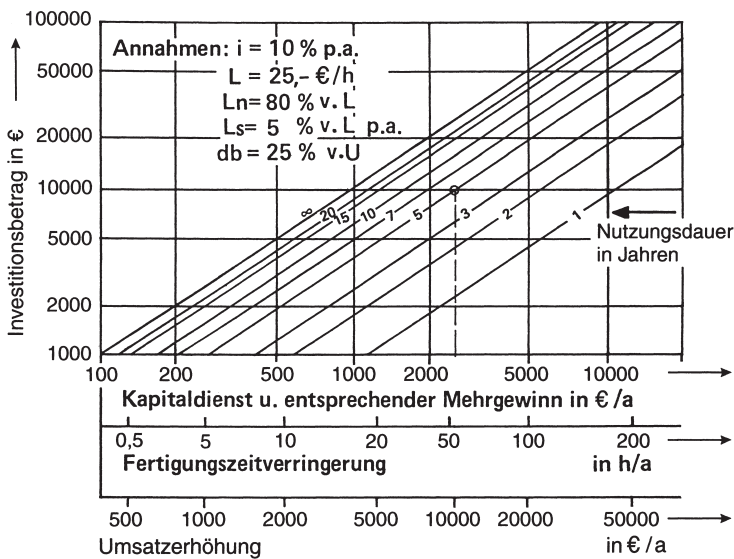


Abb. 35. Investitionsbetrag und Kapitaldienst, Fertigungszeitverringerung und Umsatzerhöhung

					Lohnsatz	= 25 €/h				
					Zinssatz	= 15% p.a.				
					Lohnnebenkostensatz	= 80% v. L				
Zeit-					Lohnsteigerungssatz	= 5% v. L				
einsparung										
in h/a										
	2	3	5	7	10	15	20			
100	7438,02	10658,06	16246,07	20864,19	26333,11	32598,42	36486,59			
120	8925,62	12789,67	19495,28	25037,02	31599,73	39118,10	43783,90			
140	10413,23	14921,28	22744,49	29209,86	36866,35	45637,78	51081,22			
160	11900,83	17052,89	25993,71	33382,70	42132,97	52157,47	58378,54			
180	13388,44	19184,50	29242,92	37555,54	47399,59	58677,15	65675,86			
200	14876,04	21316,12	32492,14	41728,38	52666,22	65196,84	72973,18			
250	18595,05	26645,15	40615,17	52160,47	65832,77	81496,05	91216,47			
300	22314,06	31974,18	48738,21	62592,57	78999,33	97795,26	109459,7			
350	26033,08	37303,21	56861,24	73024,66	92165,88	114094,4	127703,0			
400	29752,09	42632,24	64984,28	83456,76	105332,4	130393,6	145946,3			
450	33471,10	47961,27	73107,31	93888,85	118498,9	146692,8	164189,6			
500	37190,11	53290,30	81230,35	104320,9	131665,5	162992,1	182432,9			
600	44628,13	63948,36	97476,42	125185,1	157998,6	195590,5	218919,5			
700	52066,16	74606,42	113722,4	146049,3	184331,7	228188,9	255406,1			
800	59504,18	85264,48	129968,5	166913,5	210664,8	260787,3	291892,7			
900	66942,20	95922,54	146214,6	187777,7	236997,9	293385,7	328379,3			
1000	74380,23	106580,6	162460,7	208641,9	263331,1	325984,2	364865,9			

Abb. 36. Investitionsgrenzwert bei Zeiteinsparungen

Beispiel zu 3.1.8.2: Investitionsgrenzwert für Roboterentwicklung

Für die Entwicklung eines „Roboters“, der für das Farbspritzen einzusetzen ist, soll der Investitionsgrenzwert ermittelt werden. Wieviel darf der Roboter höchstens kosten, wenn durch seinen Einsatz eine Einsparung erzielt wird von:

- Ein Mann auf 10 Jahre bei „vollem“ (= 80%) Einschichtbetrieb

$$\Delta T_{gr1} = 0,8 \times 35 \frac{h}{W_o} \times 50 \frac{W_o}{a} = 1400 \frac{h}{a} \text{ aus Tabelle folgt} \rightarrow 369 \text{ T€}$$

- Eine Arbeitsstelle auf 7 Jahre bei „vollem“ (= 80%) Zweischichtbetrieb

$$\Delta T_{gr2} = 2 \times 0,8 \times 35 \frac{h}{W_o} 50 \frac{W_o}{a} = 2800 \frac{h}{a}$$

$$\begin{aligned} \text{aus Tabelle folgt} &\rightarrow 2 \times 292 \text{ T€} \\ &= \underline{\underline{584 \text{ T€}}} \end{aligned}$$

Der einschichtig einzusetzende Roboter sollte nicht mehr kosten als ca. 369 T€ und der zweischichtige Einsatz erlaubt ca. 584 T€ an Investitionen. (Es sind jeweils nur 80% der Planzeit angesetzt und dafür Strom- und Wartungskosten vernachlässigt).

3.1.8.3**neu – neu**

Bestehen technische, kapazitive oder wirtschaftliche Notwendigkeiten für die Einführung eines neuen Verfahrens, dann ist sowohl über die Grenzkosten (k_{gr}) zu entscheiden als auch über Sonderkostenumlagen, also „sprungfixe Kosten“, die von den Investitionen ($I_{1/2}$) ausgelöst werden. Unter Einbeziehung von Zinsen lautet dann die Bedingung für die Wahl von Verfahren 2:

$$k_{gr2} + \frac{I_2 K_2}{M} < k_{gr1} + \frac{I_1 K_1}{M}.$$

Für langfristige Betrachtungen, wenn also die Grenzkosten k_{gr} als variabel oder gar proportional und der Kapitaleinsatz K_{fix} auch als veränderlich erklärt werden muss, gilt, Entscheidung für Investition 2, wenn:

$$k_{var2} + k_{fix2} < k_{var1} + k_{fix1}$$

mit

k_{var} = variable Kosten je Mengeneinheit und

k_{fix} = Fixe Kosten je Mengeneinheit (aber langfristig doch als veränderlich anzusehen).

Bei Werkzeugen, Vorrichtungen, Modellen u.a. ist die wirtschaftliche Grenzmenge n_{gr} in Stk von Bedeutung. Sie errechnet sich näherungsweise (ohne Zins) nach der Beziehung:

$$I_1 + n_{gr} k_{gr1} = I_2 + n_{gr} k_{gr2}$$

$$n_{gr} = \frac{I_2 - I_1}{k_{gr1} - k_{gr2}}.$$

Für die wirtschaftliche durchschnittliche Grenzleistung M_{gr} in Stk/a gilt analog die Beziehung:

$$K_{fix,1} + M_{gr} k_{var1} = K_{fix,2} + M_{gr} k_{var2}$$

$$M_{gr} = \frac{K_{fix,2} - K_{fix,1}}{k_{var,1} - k_{var,2}}.$$

Dabei ist

$K_{fix,1/2}$ = fixe Fertigungskosten je Zeiteinheit z. B.: €/Jahr,

$k_{var,1/2}$ = variable Fertigungskosten je Mengeneinheit z. B.: €/Stk und

M_{gr} = Grenzleistung als Menge je Zeiteinheit z. B.: Stk/Jahr.

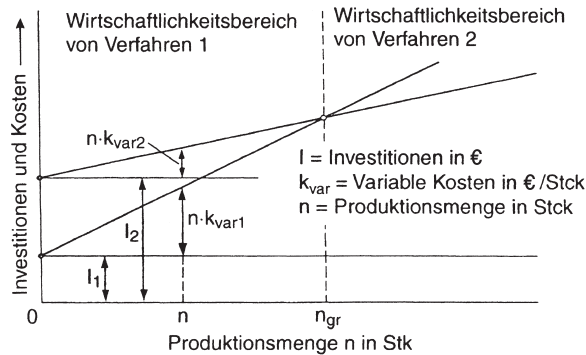


Abb. 37. Grenzmengenrechnung für Investitionen (Verfahrensgrenzen)

Die Folgerungen aus den verschiedenen Kostendegressionen werden durch Vereinheitlichung ausgewertet in folgender Form:

Vereinheitlichung	Bemerkungen
Baureihenbildung	Einsparungen in der Entwicklung, Arbeitsvorbereitung und z.T. Fertigung
Gleichteileverwendung (Wiederholteile bei einem oder mehreren Modellen)	Erhöhung der Produktionsmenge bzw. der Produktionsleistung evt. Fließfertigung bringt Fertigungskostensenkung bis 20%
Teilfamilienbildung Betriebsnormung	Möglichkeit zur Massenfertigung oder zur Anwendung von Rohteilen oder Verfahren der Massenfertigung. Fertigungskostensenkung bis 50%
Außerbetriebliche Normung	Günstige Bezugsquellen, da Kostendegression auch durch Produktion für andere möglich wird. Ein Massenfertigungsteil kostet im Durchschnitt nur 20% bis 5% eines gleichartigen Einzelfertigungsteils.

Abb. 38. Vereinheitlichungen und ihre Auswirkungen

Produktionsmenge bzw. Produktionsleistung	Kostensätze bzw. Strategie
10 Stk einmalig Kleine Produktionsmenge <ul style="list-style-type: none"> • Einzelfertigung – Beispiele: Versuchs- und Rennmodelle, Kundenspezifische Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> • Der Sieg rechtfertigt (fast) jeden Aufwand • Hohe variable Kosten vertretbar • Wenig Entwicklungsaufwand anstreben • Vielfach Improvisation statt Planung • Verwendung möglichst vieler Norm-, Serien-, Wiederholteile und Halbzeuge • Minimierung typgebundener Investitionen: 1 Mio € Investitionen → 100 €/Stk
10000 Stk/a auf 10 Jahre Mittlere Produktionsmenge <ul style="list-style-type: none"> • Serienfertigung – Beispiele: Exklusivmodelle Kleinserienmodelle	<ul style="list-style-type: none"> • Variable Kosten reduzieren • Mittlerer Entwicklungsaufwand vertretbar • Nach vorhandenen Betriebsmitteln konstruieren • Möglichst Aggregate aus Großserien verwenden (Halbe Fertigungskosten!) • Normteil- und Wiederholteilverwendung noch lohnend • Ur- und Umformverfahren intensiver einsetzen • Wirtschaftliche Beschaffungs- und Losgröße beachten • Einfache typgebundene Betriebsmittel verwenden • 100 Mio € Investitionen → 1000 €/Stk
100000 Stk/a auf 10 Jahre Große Produktionsmenge <ul style="list-style-type: none"> • Fließfertigung – Beispiele: Serienmodelle, Auswahlfertigung	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe variable Kosten anstreben durch Teilautomatisierung, Einzweckmaschinen teils Transferstraßen, Arbeitsplatzgestaltung mit Kleinstzeitverfahren (MTM o.ä.) • Hoher Entwicklungsaufwand vertretbar • Norm- und Wiederholteile nur noch bedingt interessant • Konstruktionen teils an vorhandene Betriebsmittel anpassen (Umbau) • Hohe Investitionsbeträge für typgebundene Betriebsmittel leicht zu vertreten • 100 Mio € Investitionen → 100 €/Stk
1000000 Stk/a auf 10 Jahre Maximale Produktionsmenge <ul style="list-style-type: none"> • Massenfertigung – Beispiele: Technologische Grenzleistung evt. in Parallelfertigung Produkte mittlerer und niedriger Preisklasse	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum an variablen Kosten anstreben durch Automatisierung und Kleinstzeitverfahren • Entwicklung und Planung bis ins Detail vertretbar • Optimale Konstruktion ohne Rücksicht auf vorhandene Betriebsmittel • Neumaschinen lohnen sich auch bei geringer Einsparung an variablen Kosten • Optimierung jedes Teils möglich, da kaum Vorteile durch Norm- und Wiederholteile (da gleiche Stückzahl!) • Spanlose Verfahren auf voller Breite anwenden • 100 g/Stk Mindergewicht bringt 1 Mio DM Einsparung • 1 min/Stk weniger Fertigungszeit rechtfertigt einen Investitionsbetrag von 4 Mio DM • 100 Mio € Investitionen → 10 €/Stk

Abb. 39. Strategische Hinweise für verschiedene Produktionsmengen und Produktionsleistungen am Beispiel der Fahrzeugproduktion

Angebots- und Projektkalkulation

Leitfaden für Praktiker

Bronner, A.

2008, X, 216 S. 90 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-540-75421-3