

|                                   |   |                         |
|-----------------------------------|---|-------------------------|
| VEREIN<br>DEUTSCHER<br>INGENIEURE | Konstruktionsmethodik<br>Technisch-wirtschaftliches Konstruieren<br>Technisch-wirtschaftliche Bewertung | VDI 2225<br><br>Blatt 3 |
|-----------------------------------|---|-------------------------|

Design engineering methodics  
Engineering design at optimum cost  
Valuation of costs

| Inhalt   | Seite    |
|--|----------|
| Vorbemerkung .....   | 2        |
| <b>1 Technisch-wirtschaftliche Bewertung beim Entwerfen vollständiger technischer Produkte .....</b> | <b>2</b> |
| 1.1 Einführung .....   | 2        |
| 1.2 Technische Bewertung .....   | 3        |
| 1.3 Wirtschaftliche Bewertung .....  | 5        |
| 1.4 Steuerung der konstruktiven Entwicklung .....  | 5        |
| <b>2 Anwendungsbeispiele .....</b>   | <b>8</b> |
| 2.1 Beispiel Vorgelege .....   | 8        |
| 2.2 Beispiel Druckluftantrieb .....  | 11       |
| 2.3 Beispiel Klappenantrieb .....  | 14       |
| 2.4 Beispiel Abschleppkran .....   | 16       |
| 2.5 Beispiel Impulsantrieb .....   | 17       |
| Schrifttum .....   | 18       |

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb  
Ausschuß Technisch-wirtschaftliches Konstruieren

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

Externe elektronische Auslegestelle-Beuth-Friedrich-Althoff-Konsortium Geschäftsstelle am Zuse-Institut Berlin-KdNr.6956955-ID.BLDX1X5EAXRS2CSWQWRXV2WV.3-2015-07-22 11:44:55

Frühere Ausgabe: 9.90 Entwurf

Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1998

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet

## Vorbemerkung

Zwischen folgenden VDI-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 Schaltwerkes 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“ und 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

Das vorliegende Blatt 3 wurde vom Ausschuß „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren“ erarbeitet.

Der Ausschuß hat bei seiner Arbeit zahlreiche Herren aus Industrie und Hochschule um Kritik, Anregungen, Verbesserungsvorschläge gebeten und hat allen zu danken, die die Arbeit unterstützt und gefördert haben.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## 1 Technisch-wirtschaftliche Bewertung beim Entwerfen vollständiger technischer Produkte

### 1.1 Einführung

Unter „vollständigen technischen Produkten“ werden in dieser Richtlinie sämtliche technischen Gebilde verstanden, angefangen von einfachsten, in sich abgeschlossenen Geräten, über Maschinen, Bauwerke bis hin zu vollständigen Anlagen.

Das Ziel jeder Produktentwicklung ist, Produkte mit einer so großen technischen und wirtschaftlichen Reife zu schaffen, daß die Konkurrenzfähigkeit am Markt über längere Zeit erhalten bleibt. Dafür haben sich eine technische und eine wirtschaftliche Bewertung als besonders geeignet erwiesen, bei denen technische und wirtschaftliche Schwachstellen erkannt und weitgehend ausgemerzt werden können.

In Bild 1 ist der Vorgehensplan für das Schaffen neuer Produkte aus der Richtlinie VDI 2222 Blatt 1 „Konzipieren technischer Produkte“ wiedergegeben. Ausgehend von der Auswahl der Aufgabe steht das Lösungskonzept am Ende des Konzipierens und ist Ausgangspunkt für das nachfolgende Entwerfen.

Für die klare und übersichtliche Abfassung der Anforderungsliste und zur systematischen Durchführung der im Laufe der Entwicklung erforderlichen Bewertungen wird unterschieden zwischen

- Festforderungen, die unter allen Umständen erfüllt werden müssen, gekennzeichnet durch quantitative Größen (z. B. Leistung in kW oder Volumen in m<sup>3</sup>) und beschreibende Angaben (z. B. Sicherheitsvorschriften),
- Mindestforderungen, die nach der günstigen Seite über- oder unterschritten werden dürfen (höherer Wirkungsgrad, geringerer Geräuschpegel),
- Wünschen, die nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollen (z. B. zentrale Bedienung, schöne Form).

Da die Festforderungen bei allen Lösungen erfüllt sein müssen, scheiden sie für die Bewertung aus. Dagegen ist es notwendig, die Über- oder Unterschreitung von Mindestforderungen und die Erfüllung von Wünschen bei der technischen Bewertung zu berücksichtigen. Außer diesen vornehmlich vom Auftraggeber (Kunden) kommenden Forderungen und Wünschen kann es auch zusätzliche, vom Hersteller formulierte Forderungen und Wünsche geben. Darunter fallen z. B. Verwendung bereits vorhandener Teilgeräte, Baugruppen, Normteile und dgl., Fertigung in eigenen Werkstätten mit bestehenden Einrichtungen und Modellen, Verwendung bestimmter Werkstoffe, Beschränkung auf lagermäßige Halbzeuge und dgl. Im

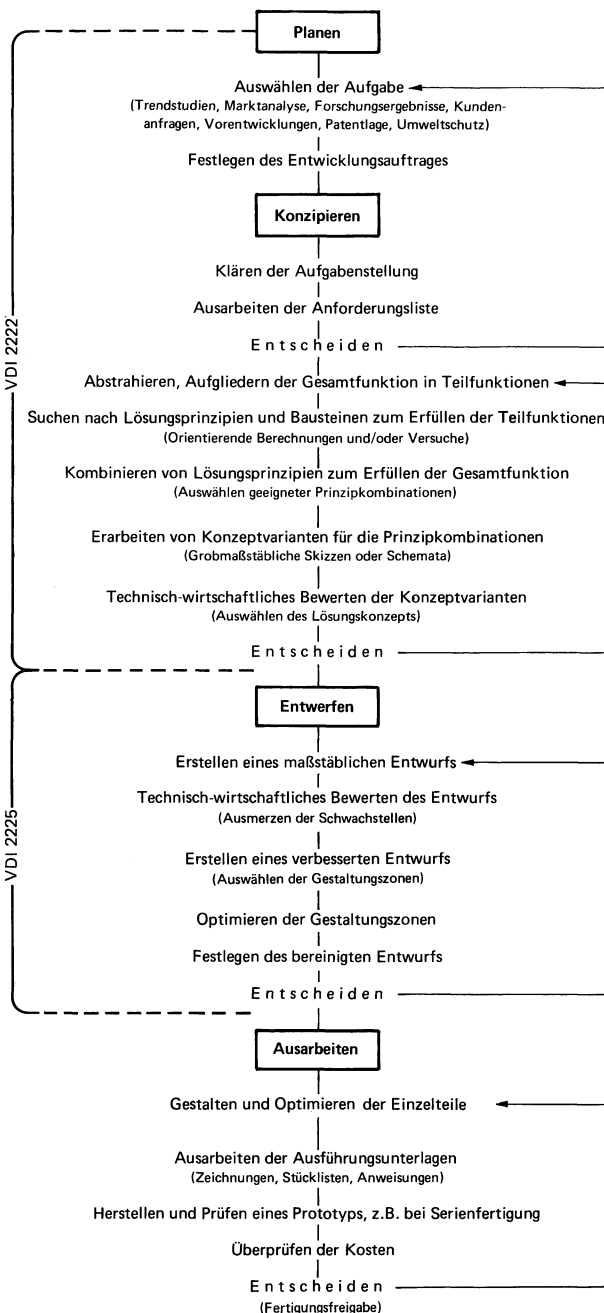


Bild 1. Vorgehensplan für das Schaffen neuer Produkte

Interesse der Übersichtlichkeit der Anforderungsliste kann es vorteilhaft sein, eine Unterteilung in herstell- und gebrauchsbundene Forderungen und Wünsche vorzunehmen.

## 1.2 Technische Bewertung

### 1.2.1 Einführung

Basierend auf dem Lösungskonzept werden als erster Schritt des Entwerfens ein oder mehrere maßstäbliche Entwürfe erarbeitet, deren Brauchbarkeit und Verbesserungsmöglichkeiten mit Hilfe der technischen Bewertung ermittelt werden sollen. Eine konstruktive Lösung kann nur weiter verfolgt werden, wenn alle Festforderungen erfüllt sind. Darüber hinaus ist sie

um so wertvoller, je besser es gelungen ist, die Mindestforderungen im günstigen Sinn zu erfüllen und die Wünsche nach Möglichkeit zu berücksichtigen. Zusätzlich gibt es aber für jedes Produkt noch technische Eigenschaften, die für seine Funktion und Benutzung wichtig sind, die aber im allgemeinen erst nach Vorliegen des Entwurfes erkennbar werden, z. B. Raumbedarf, ergonomische Gestaltung. Eine Ideallösung würde dann vorliegen, wenn alle Mindestforderungen, Wünsche und technischen Eigenschaften – zusammenfassend als Bewertungsmerkmale bezeichnet – denkbar gut verwirklicht sind.

### Beispiel: Entwurf eines PKW

#### Festforderungen

fünfsitzige Limousine, wassergekühlter Motor für Vorderradantrieb, Leistung 50 kW, maximales Drehmoment 85 Nm bei einer Drehzahl von 50/s, synchronisiertes Vierganggetriebe mit festgelegten Übersetzungen, Scheibenwaschanlage, heizbare Heckscheibe

#### Mindestforderungen

Benzinverbrauch bei 100 km/h  $\leq 8$  l/100 km, Kofferraum  $\geq 0,3$  m<sup>3</sup>, sicheres Startvermögen bei Temperaturen bis  $-15$  °C

#### Wünsche

ansprechende Form, gute Straßenlage

#### Technische Eigenschaften

kompakte Bauweise, bequeme Einstiegsmöglichkeit, Korrosionssicherheit, Geräuscharmut

### 1.2.2 Vorbereitung der technischen Bewertung

Bevor mit der Bewertung im einzelnen begonnen wird, ist es zweckmäßig, die aus der Anforderungsliste bereits bekannten Mindestforderungen und Wünsche zusammenzustellen und durch die technischen Eigenschaften zu ergänzen. In der Regel wird diese Zusammenstellung sehr umfangreich, insbesondere bezüglich der Wünsche und technischen Eigenschaften.

Der Konstrukteur wird zunächst selbst festlegen, welche Merkmale er für wesentlich hält und der Bewertung seines Entwurfs zugrunde legen will. Um aber eine möglichst objektive Auswahl der Bewertungsmerkmale zu gewährleisten, sollte die endgültige Festlegung nach Diskussion mit dem Auftraggeber und mit weiteren Mitarbeitern (z. B. aus der Fertigung, dem Einkauf und dem Vertrieb) erfolgen. Diese Diskussion sollte möglichst frühzeitig erfolgen. Für eine erste Orientierung genügt es meist, zusätzlich

etwa 10 bis 15 technische Eigenschaften zu berücksichtigen. Mindestforderungen, Wünsche und technische Eigenschaften werden dabei als Vorzüge und nicht als Mängel formuliert, z. B. „Geräuscharm“ statt „Geräuschstärke“, „Korrosionsbeständigkeit“ statt „Korrosionsneigung“ usw.

### 1.2.3 Punktbewertung

In vielen Fällen, insbesondere bei Leistungsmerkmalen, läßt sich die Bewertung durch eine Zahl ausdrücken, z. B. Wirkungsgrad in %, Geräusch in dB. Da die Maßeinheiten verschieden sind, kann eine Gesamtbeurteilung nicht einfach durch Addition dieser Zahlen ermittelt werden. Andererseits lassen sich die Merkmale, die für die Qualität charakteristisch sind, in den wenigsten Fällen zahlenmäßig darstellen, wie Verfügbarkeit oder Wartungsfreundlichkeit eines Gerätes. Erfahrungsgemäß läßt sich aber durchaus beurteilen, ob die Erfüllung eines Merkmales als „sehr gut“, „gut“, „ausreichend“, „gerade noch tragbar“ oder als „unbefriedigend“ einzustufen ist. Den weiteren Ausführungen ist deshalb eine Punktbewertung nach Bild 2 zugrunde gelegt.

| Annäherung an die ideale Verwirklichung: |                |
|--|----------------|
| sehr gut (ideal)                         | $p = 4$ Punkte |
| gut                                      | $p = 3$ Punkte |
| ausreichend                              | $p = 2$ Punkte |
| gerade noch tragbar                      | $p = 1$ Punkt  |
| unbefriedigend                           | $p = 0$ Punkte |

Bild 2. Punktbewertungsskala

Etwa 2,5 Punkte entsprechen einer Durchschnittsbewertung. Die Durchführung einer technischen Bewertung mit Hilfe eines Formblattes, siehe z. B. Bild 15, ist den Beispielen im Abschnitt 2 zu entnehmen.

Als Bezugsgröße für eine solche Bewertung wird ein Produkt angenommen, das alle Bewertungsmerkmale ideal verwirklicht (technische Ideallösung). Die zur Beurteilung vorliegenden Entwürfe werden mit der Ideallösung verglichen. Der jeweilige Grad der Annäherung an die ideale Verwirklichung ist aus der Punktzahl ersichtlich. Die Ideallösung selbst stellt keinen absoluten Bezugspunkt dar, denn sie ist an den jeweiligen Stand der Technik gebunden. Da es sich jedoch um einen Vergleich relativer und nicht absoluter Zahlen handelt, ist dies ohne Belang.

Die Erfahrung lehrt, daß eine Bewertung möglichst in einer Gruppe von Mitarbeitern unterschiedlicher Betriebsbereiche durchgeführt werden sollte; der Konstrukteur oder der Erfinder sieht meist nur die Vorteile seiner Lösung. Der Hauptvorteil, den eine

sorgfältige Punktbewertung mit sich bringt, besteht darin, daß klar zum Ausdruck kommt, welche Merkmale gut und welche schlechter verwirklicht sind. Dadurch wird der Konstrukteur angeregt, diese sogenannten Schwachstellen, die in dem Bewertungsschema z. B. durch Einrahmen besonders hervorzuheben sind, auszumerzen.

### 1.2.4 Technische Wertigkeit

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, eine als technische Wertigkeit bezeichnete Größe  $x$  einzuführen, in der die Summe der Punkte eines Entwurfes zur maximal möglichen Punktzahl der Ideallösung in Beziehung gesetzt wird. Sind  $p_1, p_2, \dots, p_n$  die jeweiligen Punktzahlen für die 1., 2., ...,  $n$ -te Eigenschaft,  $p_{\max}$  die maximale Punktzahl, welche allen Eigenschaften des Idealerzeugnisses zukommt, und  $n$  die Anzahl der bewerteten Mindestforderungen, technischen Eigenschaften und Wünsche, so ergibt sich für die technische Wertigkeit

$$x = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n \cdot p_{\max}} = \frac{\bar{p}}{p_{\max}} \quad (1)$$

wobei  $\bar{p}$  den arithmetischen Mittelwert der Punktzahlen  $p_1, p_2, \dots, p_n$  und  $p_{\max} = 4$  die höchste Punktzahl bedeuten. Die technische Wertigkeit der Ideallösung ist  $x = x_i = 1$ .

Anzustreben ist eine möglichst hohe technische Wertigkeit, wobei aber zu beachten ist, daß dies nicht allzusehr auf Kosten der wirtschaftlichen Wertigkeit (siehe Abschnitt 2.3.2) geschieht. Eine technische Wertigkeit über 0,8 ist im allgemeinen als sehr gut, von 0,7 als gut, unter 0,6 als nicht befriedigend anzusehen. Es muß jedoch nachdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die technische Wertigkeit  $x$  zunächst nur einen allgemeinen Überblick gibt und lediglich zum Ausdruck bringt, ob die gewählte Lösung wenigstens in technischer Hinsicht Aussicht auf Erfolg verspricht.

Die Ermittlung der technischen Wertigkeit nach Gl. (1) setzt voraus, daß die bewerteten Eigenschaften von etwa gleicher Bedeutung (gleicher Gewichtung) sind. Trifft dies nicht zu, so kann anstelle des arithmetischen Mittelwertes  $x$  der gewichtete Mittelwert  $x_g$  gemäß nachstehender Beziehung verwendet werden:

$$x_g = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + g_3 p_3 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) p_{\max}} \quad (2)$$

wobei  $g_1, g_2, \dots, g_n$  die den technischen Eigenschaften 1, 2, ...,  $n$  zugeordneten Gewichtungen sind.

Die Erfahrung und diesbezügliche Untersuchungen haben gezeigt, daß in der Mehrzahl aller praktischen Fälle die einfache arithmetische Mittelwertbildung gemäß Gl. (1) ohne nennenswerten Fehler angewendet werden kann [4; 5].

### 1.2.5 Zusätzliche Zielsetzungen

Außer der Zielsetzung, möglichst geringe Herstellkosten zu erreichen, ist je nach Art der Aufgabenstellung die Erfüllung zusätzlicher Teilziele, wie Minimum des Gewichts (Leichtbau), des Raumbedarfs (Kleinstbau), der Verluste (bester Wirkungsgrad), der Betriebskosten, ferner günstigste Handhabung (ergonomische Gesichtspunkte) und dgl. von entscheidendem Einfluß auf die Gestaltung eines Produktes. Bei der Klärung der Aufgabe und Festlegung der zulässigen Herstellkosten müssen diese Zielsetzungen deshalb sorgfältig untersucht und möglichst umfassend in der Anforderungsliste des zu entwickelnden Produktes festgelegt werden. Solche Forderungen mit überragender Gewichtung werden zweckmäßig nicht in die Bewertungsliste aufgenommen, sondern als „Technische Forderung besonderer Bedeutung“ neben der Liste aufgeführt.

## 1.3 Wirtschaftliche Bewertung

### 1.3.1 Einführung

Bei der wirtschaftlichen Bewertung wird in der Regel der Aufwand für die Herstellung des Produktes berücksichtigt (Herstellkosten); der Begriff „wirtschaftlich“ ist in diesem Sinne eingegrenzt. Diejenigen wirtschaftlichen Vorteile, die sich bei der Verwendung von Produkten z. B. durch höheren Wirkungsgrad, längere Lebensdauer, geringere Wartung, größere Genauigkeit, kleineren Ausschuß und dgl. ergeben, sind soweit als möglich durch die technische Bewertung zu erfassen (siehe Abschnitt 1.2).

Im Gegensatz zur technischen Bewertung können bei der wirtschaftlichen Bewertung die Kosten als alleiniger Maßstab benutzt werden.

### 1.3.2 Wirtschaftliche Wertigkeit

Maßgebend für die wirtschaftliche Bewertung sind die Herstellkosten (siehe Richtlinie VDI 2225 Bl. 1, Entwurf). Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, analog zur technischen Wertigkeit  $x$  auch für die wirtschaftliche Bewertung eine ähnliche Größe, die sogenannte wirtschaftliche Wertigkeit  $y$ , einzuführen. Hierzu ist es nötig, eine wirtschaftliche Ideallösung zu definieren, deren Herstellkosten als „ideal“ angenommen werden.

Im einzelnen ist wie folgt vorzugehen:

Auf Grund einer Marktuntersuchung werden die z. Z. gültigen Marktpreise  $P_M$  konkurrierender Produkte ermittelt; der niedrigste dieser Preise wird mit  $P_{M, \min}$  bezeichnet. Gemäß Gl. (3.02) in Bl. 1 der Richtlinie VDI 2225 lassen sich die zulässigen Herstellkosten aus

$$H_{\text{zul}} = \frac{P_{M, \min}}{\beta} \quad (3)$$

bzw. die zulässigen Materialkosten aus

$$M_{\text{zul}} = \frac{P_{M, \min}}{\beta} \cdot M'_0 \quad (4)$$

ermitteln.

Marktuntersuchungen werden meist vom Vertrieb durchgeführt, während die zulässigen Materialkosten bei Kenntnis von  $M'_0$  vom Konstrukteur ermittelt werden können. Um auch in wirtschaftlicher Hinsicht eine ausreichende Lebensdauer zu gewährleisten, empfiehlt es sich, die idealen Herstellkosten  $H_i$  kleiner als  $H_{\text{zul}}$  anzusetzen, z. B. mit

$$H_i = 0,7 \cdot H_{\text{zul}} \quad (5)$$

Daraus folgt für die wirtschaftliche Wertigkeit:

$$y = \frac{H_i}{H} = \frac{0,7 H_{\text{zul}}}{H} \quad (6)$$

Wird eine wirtschaftliche Wertigkeit  $y = 0,7$  erreicht, so bedeutet dies, daß  $H = H_{\text{zul}}$  ist, was als gutes Ergebnis gelten kann. Eine höhere wirtschaftliche Wertigkeit  $y$  ist jedoch anzustreben. Eine wirtschaftliche Wertigkeit, die etwas geringer als  $y = 0,7$  ausfällt, kann u. U. durch eine höhere technische Wertigkeit  $x$  kompensiert werden. Eine scharfe Trennung der technischen und wirtschaftlichen Bewertung läßt sich nicht durchführen, weil technische Änderungen sich zuweilen auch wirtschaftlich auswirken, z. B. hat die Änderung der technischen Eigenschaft „Anzahl der Bearbeitungsstellen“ Einfluß auf die Herstellkosten.

## 1.4 Steuerung der konstruktiven Entwicklung

### 1.4.1 s-Diagramm und Entwicklungslinie

Für die zusammenfassende graphische Darstellung technisch-wirtschaftlicher Bewertungen eignet sich ein Koordinatennetz mit der technischen Wertigkeit  $x$  als Abszisse und der wirtschaftlichen Wertigkeit  $y$  als Ordinate, Bild 3. Die „Stärke“  $s$  einer konstruktiven

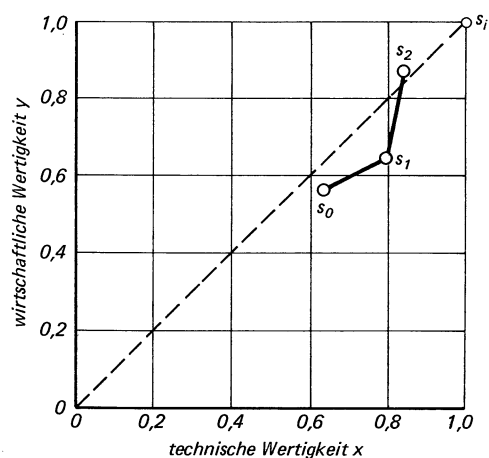


Bild 3. Vergleichende Bewertung von Konstruktionen mit Hilfe des s-Diagramms

ven Lösung ist durch den Punkt  $s$  mit den Koordinaten  $x$  und  $y$  gekennzeichnet.

Die Ideallösung ist durch den Punkt  $s_i$  mit den Koordinaten  $x = 1,0$  und  $y = 1,0$  bestimmt. Die gestrichelte Linie vom Koordinatenursprung  $0$  zum Punkt  $s_i$  wird als Entwicklungslinie bezeichnet und entspricht Punkten gleicher technischer und wirtschaftlicher Wertigkeit. Mit zunehmender Reife einer konstruktiven Lösung verschiebt sich der Punkt  $s$ , der die „Stärke“ der jeweiligen Lösung charakterisiert, in Richtung auf  $s_i$ . Durch Eintragen der „Stärke“  $s$  in das  $s$ -Diagramm erhält man ein anschauliches Bild von dem jeweiligen technisch-wirtschaftlichen Wert einer konstruktiven Lösung.

#### 1.4.2 Vorgehensschritte bei der technisch-wirtschaftlichen Bewertung

Im folgenden werden die einzelnen Vorgehensschritte noch einmal zusammengefaßt, siehe Bild 4.

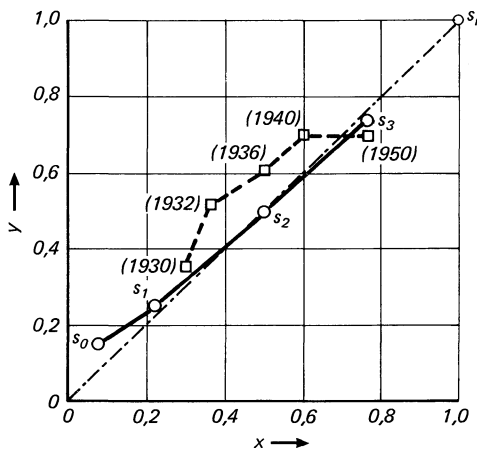


Bild 4.  $s$ -Diagramm (Kesselring)  
 --- Entwicklungslinie  
 — Zahnradgetriebe  
 - - - 10-kV-Expansionsschalter

#### Technische Bewertung

- Sammeln der Mindestforderungen und Wünsche aus der Anforderungsliste
- Sammeln technischer Eigenschaften der Entwürfe
- Diskussion und Auswahl der Bewertungsmerkmale mit Kunden und Mitarbeitern
- Eintragen der Bewertungsmerkmale in ein Formblatt (Bewertungsliste), dabei technische Eigenschaften als Vorzüge und nicht als Mängel formulieren.
- Bewerten der einzelnen Merkmale nach Punktbewertungsskala Bild 2 unter Mitwirkung von Mitarbeitern aus Konstruktion, Fertigung, Kalkulation u. a.
- Kennzeichnen (Einrahmen) aller mit Punktzahlen 1 und 2 bewerteten Merkmale als Schwachstellen des Entwurfs

- Summieren der Bewertungspunktzahlen eines jeden Entwurfs und der Ideallösung und Ermitteln der technischen Wertigkeit  $x$  nach Gl. (1)

#### Wirtschaftliche Bewertung

- Ermitteln der Materialkosten des Entwurfs nach Richtlinie VDI 2225 Bl. 1 und 2
- Kennzeichnen (Einrahmen) der Kostenschwerpunkte (herausragende Materialkosten) als wirtschaftliche Schwachstellen
- Ermitteln der Herstellkosten nach Richtlinie VDI 2225 Bl. 1, Abschnitt 2
- Ermitteln der idealen Herstellkosten aus den zulässigen Herstellkosten nach Gl. (3)
- Berechnen der wirtschaftlichen Wertigkeit  $y$  nach Gl. (4)

#### Entwicklungslinie und $s$ -Diagramm

- Eintragen der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeit  $x$  und  $y$  in das  $s$ -Diagramm, Bild 3
- Das Verfahren wird wiederholt, bis zufriedenstellende Wertigkeiten erreicht sind.

#### 1.4.3 Zusammenfassende Beurteilung

Der sich aus den ermittelten  $x$ - und  $y$ -Werten ergebende Punkt im  $s$ -Diagramm gibt einen Anhalt für die Stärke der konstruktiven Lösung des Entwurfs.

Soll für die Gesamtbewertung eines Entwurfes ein einziger Zahlenwert verwendet werden, wird jeweils die technische Wertigkeit mit der wirtschaftlichen Wertigkeit multipliziert. Das ergibt einen Zahlenwert für das Verhältnis von Aufwand zu Erfolg. Diese zahlenmäßige Bewertung sagt dasselbe aus, wie die Gesamtbewertung im  $s$ -Diagramm, wird aber kaum verwendet, weil sie weniger anschaulich ist, und insbesondere, weil eine einzelne Zahl nichts darüber aussagt, in welcher Richtung man eine weitere Verbesserung eines Entwurfes anstreben sollte.

Die Erfahrung lehrt, daß nur diejenigen Produkte Aussicht auf Bestand haben, die technisch gut sind und zugleich niedrige Herstellkosten aufweisen. Das bedeutet, daß ihre Stärke  $s$  durch einen Punkt charakterisiert wird, der von der Entwicklungslinie nicht allzuweit entfernt liegt. Dabei sind Produkte um so aussichtsreicher, je mehr sie sich dem Punkt  $s_i$  nähern (Bild 3). Bei der weiteren Bearbeitung ist sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Bewertung im einzelnen daraufhin zu überprüfen, ob und wo noch technische und wirtschaftliche Schwachstellen vorhanden sind, die soweit wie möglich ausge- merzt werden sollten.

Gelingt eine genügende Annäherung des Punktes  $s$  an die Entwicklungslinie nicht, so empfiehlt es sich, nach einer grundsätzlich anderen Lösung für die gestellte Aufgabe zu suchen (siehe Abschnitt 2). Bei der Vielfältigkeit technischer Aufgabenstellungen lassen sich

keine allgemeingültigen Richtlinien für die zusammenfassende Bewertung von Entwürfen angeben. Im allgemeinen ist ein Entwurf nur dann wirklich „stark“, wenn er technische und wirtschaftliche Fortschritte in sich vereinigt. In Ausnahmefällen kann es genügen, wenn lediglich die technische Wertigkeit vergrößert wird. Die Verhältnisse können jedoch auch so liegen, daß die technische Wertigkeit der bisherigen Lösung ausreichend ist, jedoch die Kosten untragbar hoch sind; dann wird das Hauptaugenmerk auf die wirtschaftliche Wertigkeit, d. h. auf die Senkung der Herstellkosten zu richten sein.

Die Methode der technisch-wirtschaftlichen Bewertung kann auch dazu verwendet werden, die Entwicklung der Lösungen für bestimmte technische Aufgabenstellungen nachträglich über Jahre oder Jahrzehnte zu verfolgen, festzustellen und zu bewerten.

Kesselring hat derartige Untersuchungen für Zahnradgetriebe und für Hochspannungsschalter aus der Sicht des Jahres 1950 angestellt, Bild 4. Es ist zu erkennen, daß die technische Entwicklung hier etwa der Geraden  $x = y$  im s-Diagramm folgte, der sogenannten „Entwicklungslinie“ [4 bis 7].

In Bild 5 ist der gesamte Ablauf der technisch-wirtschaftlichen Bewertung noch einmal graphisch zusammengestellt. In Abschnitt 2 folgt nun eine Reihe von Anwendungsbeispielen.

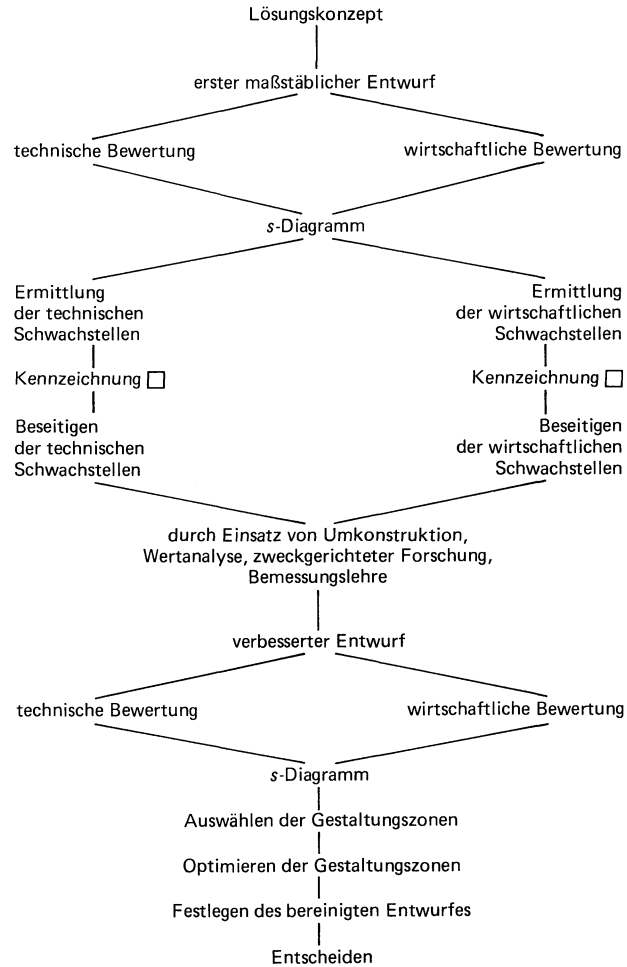


Bild 5. Vorgehensplan für das Entwerfen

## 2 Anwendungsbeispiele

### 2.1 Beispiel Vorgelege

Die technisch-wirtschaftliche Bewertung beim Entwerfen vollständiger technischer Erzeugnisse wird zuerst an einem einfachen Riemenvorgelege gezeigt.

**Aufgabenstellung:** Es ist ein Flachriemenvorgelege mit Riemenscheiben von 250 bzw. 125 mm Durchmesser (Übersetzung 2 : 1) für eine zu übertragende Leistung von 15 kW bei 12,5/s zu entwerfen. Das Vorgelege soll als geschlossene Baueinheit konzipiert sein. Die monatliche Produktionsmenge soll 100 Stück betragen. Eine Marktanalyse habe zulässige Herstellkosten von 220, – DM ergeben. Als Wünsche kommen in Betracht: leichte Austauschbarkeit der Riemen und weitgehende Wartungsfreiheit.

Den auf Grund dieser Aufgabenstellung erarbeiteten ersten Entwurf zeigt Bild 6. Die technisch konkreten Angaben der Aufgabenstellung führten zu dieser naheliegenden üblichen Bauart.

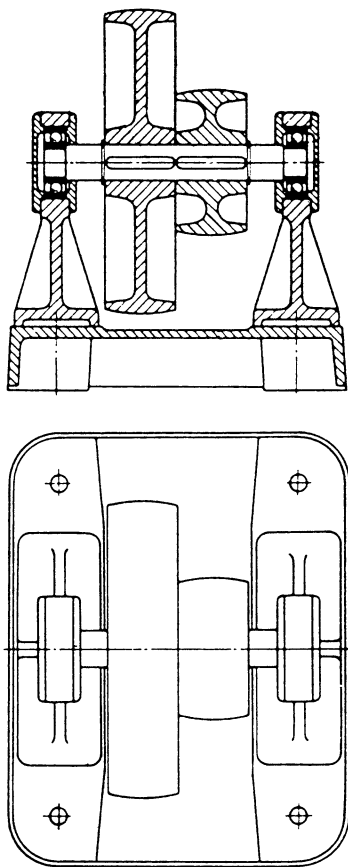


Bild 6. Vorgelege, Entwurf 1

Die beiden Stahlgußriemenscheiben sind auf einer gemeinsamen Welle angeordnet und mit Paßfedern und Sicherungsringen verbunden. Die Welle ist in Rillenkugellagern gelagert, deren Größe den zu übertragenden Kräften angepaßt ist. Die beiden Stützen sind mit der gemeinsamen Grundplatte verschraubt.

Für die Bewertung eines konstruktiven Entwurfs ist es nun prinzipiell gleichgültig, ob mit der technischen oder wirtschaftlichen Bewertung begonnen wird. Hier sei mit der wirtschaftlichen Bewertung angefangen.

#### 2.1.1 Wirtschaftliche Bewertung

Entsprechend den Darlegungen in Richtlinie VDI 2225 Blatt 1 (Entwurf), Abschnitt 2, werden zunächst die Nettovolumina der Einzelteile des Entwurfes ermittelt und daraus die Bruttovolumina der Rohteile geschätzt. Durch Multiplikation der zugehörigen relativen Werkstoffkostenwerte  $k_v^*$  mit den Basiskosten  $k_{v0}$  (hier  $k_{v0} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3$ ) werden dann die spezifischen Werkstoffkosten  $k_v$  ermittelt. Die Multiplikation der Bruttovolumina  $V_b$  mit den spezifischen Werkstoffkosten  $k_v$  und den geschätzten Werkstoffgemeinkostenfaktoren  $(1 + \bar{g}_w)$  ergibt die einzelnen Materialkostenwerte  $M$ , Bild 7. Die Rillenkugellager und die Kleinteile (Normteile) werden als Zulieferungen behandelt. Ihr Einkaufspreis bzw. die geschätzten Kosten werden mit den Zulieferungsgemeinkostenfaktoren  $(1 + \bar{g}_z)$  multipliziert, um zu den Zulieferungskosten zu gelangen.

Gemäß Bild 6 ergeben sich für den ersten Entwurf Materialkosten in Höhe von  $M_1 = 162,11 \text{ DM}$ . Unter Verwendung eines Materialkostenfaktors  $M' = 0,52$  nach VDI 2225 Blatt 1 (Entwurf), Abschnitte 5.3 und 5.4, ermittelt man daraus die zu erwartenden Herstellkosten  $H_1$  zu  $H_1 = M_1/M' = 162,11 \text{ DM}/0,52 = 311,75 \text{ DM}$ . Damit erhält man für die wirtschaftliche Wertigkeit  $y_1$  von Entwurf 1 den Wert von  $y_1 = H_i/H_1 = 153,00 \text{ DM}/311,75 \text{ DM} = 0,49$ .

Dieser niedrige Wert der wirtschaftlichen Wertigkeit ist der Anlaß für den Versuch, durch konstruktive Verbesserungen Kosten zu sparen. In der Tabelle für die Ermittlung der Materialkosten Bild 7 sind zwei Teile die aufwendigsten Posten oder sogenannte wirtschaftliche Schwachstellen: die Grundplatte und die große Riemenscheibe (eingerahmte Materialkosten). Bei der Umkonstruktion wird man also zunächst versuchen, bei diesen beiden Teilen an Material zu sparen und gleichzeitig versuchen, insgesamt weniger Teile zu verwenden.

Diese Versuche führen zunächst zum Entwurf 2, Bild 8: Die beiden Riemenscheiben mit der Welle wurden zu einem Gußteil zusammengefaßt, die Grundplatte und die beiden Stützen wurden zu einem zweiten Gußteil zusammengefaßt. Dadurch wurde zwar erheblich an Material gespart, andererseits wurden aber die Gußteile so kompliziert, daß dadurch die Kostenersparnis wieder aufgehoben wurde. Von einer kostengünstigeren Lösung ist also auch zu fordern, daß die Gußteile möglichst einfach sind.



| Stückzahl  | Teil<br>Bezeichnung | Werkstoff | $V_n$<br>$\text{cm}^3$ | $V_b$<br>$\text{cm}^3$ | $k_V^*$<br>– | $k_V$<br>$\cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3$ | $1 + \bar{g}_w; 1 + \bar{g}_z$ | $M$<br>DM |
|--|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------|--|--------------------------------|-----------|
| 1  | Grundplatte         | GG-20     | 1580                   | 1725                   | 1,6          | 16,1                                     | 1,2                            | 33,28     |
| 2  | Lagerbock           | GG-20     | 700                    | 810                    | 2,3          | 23,0                                     | 1,2                            | 22,34     |
| 1  | Riemenscheibe       | GS-38     | 920                    | 1035                   | 4,3          | 43,1                                     | 1,2                            | 52,50     |
| 1  | Riemenscheibe       | GS-38     | 310                    | 350                    | 4,6          | 46,1                                     | 1,2                            | 19,38     |
| 1  | Welle               | St 60-2   | 280                    | 320                    | 1,1          | 11,1                                     | 1,1                            | 3,91      |
| 4  | Lagerdeckel         | USt 37-2  | 250                    | 410                    | 1,0          | 10,0                                     | 1,1                            | 4,53      |
| Zulieferungen<br>(Kugellager,<br>Paßfedern usw.)<br>23,80 DM |                     |           |                        |                        |              |  | 1,1                            | 26,7      |
| Basiskosten $k_{V0} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ DM/cm}^3$      |                     |           |                        |                        |              |  | Materialkosten $M_1 = 162,11$  |           |

Bild 7. Vorgelege, Entwurf 1 – Ermittlung der Materialkosten

Aus diesen Forderungen ist der Entwurf 3, Bild 9, entstanden. Die beiden Riemenscheiben sind zu einem Gußteil zusammengefaßt, ebenso die Grundplatte mit einer Stütze, die zweite Stütze wird weggelassen. Diese einseitige Lagerung führt zu größeren Lagerkräften und erfordert größere und damit teurere Lager. Dieser Entwurf ist sicher günstig für das Auswechseln der Riemen. Wegen der fliegenden

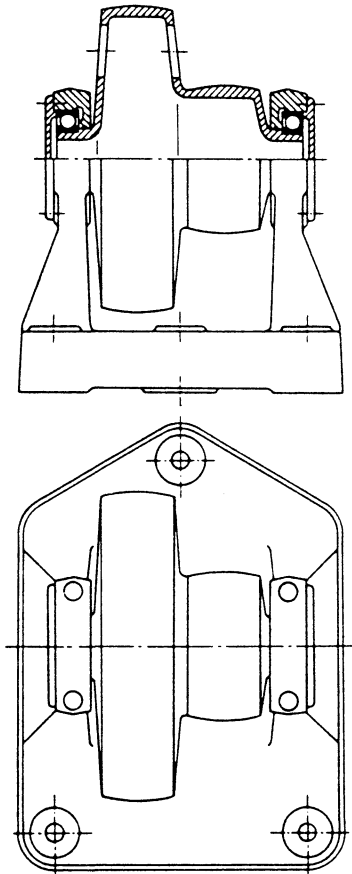


Bild 8. Vorgelege, Entwurf 2

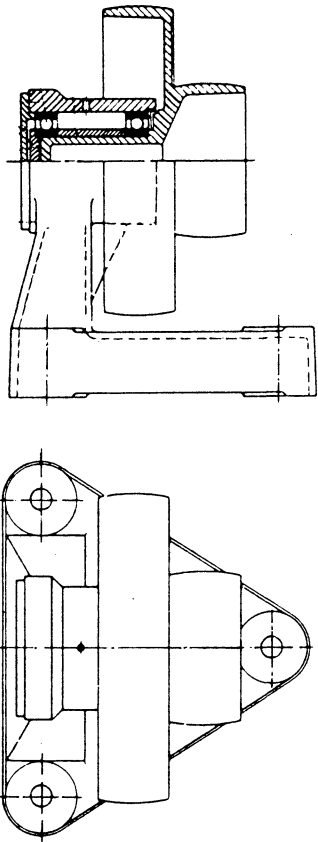


Bild 9. Vorgelege, Entwurf 3

Lagerung ergeben sich aber Bedenken bezüglich der Steifigkeit der Konstruktion, und deshalb wurde die Stütze wesentlich verstärkt.

Für diesen Entwurf 3 werden nun wieder die Materialkosten ermittelt, Bild 10: Es wurde an den Materialkosten gespart, die Anzahl der Teile wurde verringert. Die Materialkosten  $M_3$  betragen  $M_3 = 121,65 \text{ DM}$ . Wie beim Entwurf 1 ermittelt man nun  $H_3$  und  $y_3$ :

Externe elektronische Ausgestellte-Bauth-Friedrich-Althoff-Konsortium Geschäftsstelle am Zuse-Institut Berlin-KdNr.6956955-ID.BLDX1X5EAXRSZCSWQWRXV2WV.3-2015-07-22 11:44:55

| Stückzahl  | Teil Bezeichnung                   | Werkstoff | V <sub>n</sub><br>cm <sup>3</sup> | V <sub>b</sub><br>cm <sup>3</sup> | k <sub>V</sub> <sup>*</sup><br>– | k <sub>V</sub><br>· 10 <sup>–3</sup> DM/cm <sup>3</sup> | 1 + $\bar{g}_w$ ; 1 + $\bar{g}_z$ | M<br>DM                                |
|--|------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| 1  | Gestell                            | GG-20     | 1170                              | 1280                              | 2,15                             | 21,56   | 1,2                               | 33,13                                  |
| 1  | Doppelriemenscheibe                | GGG-40    | 1300                              | 1430                              | 3,0                              | 30,00   | 1,2                               | 51,41                                  |
| 2  | Deckel                             | USt 37-2  | 125                               | 200                               | 1,0                              | 10,00   | 1,2                               | 2,19                                   |
| 1  | Hülse<br>Zulieferungen<br>30,11 DM | St 35     | 70                                | 76                                | 2,1                              | 21,1  | 1,2                               | 1,80                                   |
|  |                                    |           |                                   |                                   |                                  |   | 1,1                               | 33,12                                  |
| Basiskosten k <sub>V0</sub> = 10 · 10 <sup>–3</sup> DM/cm <sup>3</sup> |                                    |           |                                   |                                   |                                  |   |                                   | Materialkosten M <sub>3</sub> = 121,65 |

Bild 10. Vorgelege, Entwurf 3 – Ermittlung der Materialkosten

$$H_3 = M_3/M' = 121,65 \text{ DM}/0,52 = 233,90 \text{ DM}$$
$$y_3 = H_i/H_3 = 153 \text{ DM}/233,90 \text{ DM} = 0,65$$

Hierbei wird angenommen, daß der Wert der relativen Materialkosten  $M'$  bei den Entwürfen gleich bleibt. Ein Zahlenwert der wirtschaftlichen Wertigkeit zwischen 0,6 und 0,7 (das bedeutet, daß die Herstellkosten  $H$  noch etwas über den zulässigen Herstellkosten  $H_{zul}$  liegen) charakterisiert noch keine zufriedenstellende Konstruktion, ist aber ein Anreiz zu weiteren konstruktiven Verbesserungen. Von verschiedenen Konstrukteuren wurde nun eine Reihe verschiedener Entwürfe ausgeführt und diskutiert, wie weit dadurch Kosten eingespart würden und welche Nachteile man sich dadurch gegebenenfalls wieder einhandelt und wie sich diese wieder konstruktiv vermeiden lassen.

Ein Ergebnis dieser Arbeiten ist Entwurf 13, Bild 11. Die wirtschaftliche Bewertung wie bei den Entwürfen 1 und 3 ergibt folgende Zahlenwerte:

Materialkosten  $M_{13} = 93,06 \text{ DM}$   
Herstellkosten  $H_{13} = 178,96 \text{ DM}$   
wirtschaftliche Wertigkeit  $y_{13} = 0,83$

Eine Wertigkeit um oder über 0,8 ist erfahrungsgemäß ein Hinweis auf eine befriedigende Konstruktion.

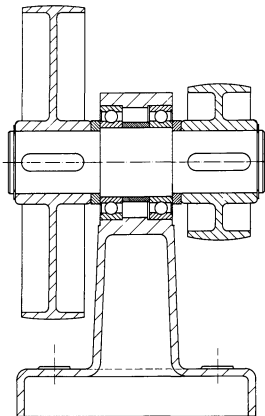


Bild 11. Vorgelege, Entwurf 13

2.1.2 Technische Bewertung

Für die technische Bewertung der Entwürfe werden die Technischen Eigenschaften verwendet, die bei der Diskussion als Argumente für oder gegen die einzelnen Entwürfe verwendet wurden. Das sind hier im einzelnen: *Einfachheit* der gesamten Konstruktion und insbesondere der großen Gußteile; *Steifigkeit*, Festigkeit, günstiger „Kraftfluß“ der gesamten Konstruktion; zuverlässige Funktion, günstige Bedienbarkeit, insbesondere *bequemer Riemenwechsel*.

Entsprechend Abschnitt 1.2.4, Bild 2, werden für die technischen Eigenschaften jeweils zwischen 0 und 4 Punkte vergeben, Bild 12. Die technische Wertigkeit eines Entwurfes (Richtlinie VDI 2225 Blatt 1) ist der Quotient aus der jeweils erreichten Punktsomme und der Punktsomme eines idealen Entwurfes, der überall die Note 4 bekommen hat. Für Entwurf 1 erhält man so die technische Wertigkeit  $x_1 = 0,5$ , für Entwurf 3 wird  $x_3 = 0,58$  und für Entwurf 13 wird  $x_{13} = 0,83$ . Ein Wert um 0,5 ist gemäß Abschnitt 1.2.4 unbefriedigend, ein Wert um 0,6 verbesserungsbedürftig und ein Wert von 0,8 oder besser zufriedenstellend.

2.1.3 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Die technische Bewertung (mit den Zahlenwerten  $x$ ) und die wirtschaftliche Bewertung (mit den Zahlenwerten  $y$ ) wird zusammengefaßt in einem sogenannten *s*-Diagramm („Stärke-Diagramm“), wie es für das Beispiel des Vorgeleges in Bild 13 skizziert ist:

Auf der  $x$ -Achse wird die technische Wertigkeit  $x$  der einzelnen Entwürfe aufgetragen, auf der  $y$ -Achse die wirtschaftliche Wertigkeit  $y$ . Die Ziffern im Diagramm kennzeichnen die einzelnen Entwürfe. Es ist erkennbar, daß hier, wie in den meisten derartigen Fällen, die Entwicklung vom ersten bis zum dreizehnten Entwurf etwa entlang der (strichpunktiert gezeichneten) 45°-Linie im Diagramm erfolgte, die deshalb auch „Entwicklungslinie“ heißt.

| Technische Eigenschaften  | 1. Entwurf | 3. Entwurf | 13. Entwurf | Idealausführung |
|---|------------|------------|-------------|-----------------|
| Einfachheit   | 2          | 2          | 3           | 4               |
| Steifigkeit   | 2          | 1          | 3           | 4               |
| Bequemer Riemenwechsel  | 2          | 4          | 4           | 4               |
| Punktsomme  | 6          | 7          | 10          | 12              |
| Technische Wertigkeit<br>= $\frac{\text{Punktsomme}}{\text{ideale Punktsomme}}$ | 0,5        | 0,58       | 0,83        | 1,0             |

Bild 12. Vorgelege, technische Bewertung

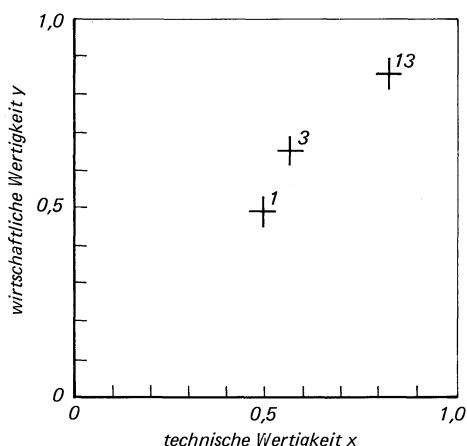


Bild 13. Vorgelege, s-Diagramm für Entwürfe 1, 3 und 13

Am Beispiel des Vorgeleges wurde in einiger Ausführlichkeit gezeigt, daß mit Hilfe der technisch-wirtschaftlichen Bewertung auch bei bekannten und auch bewährten einfachen Produkten noch Verbesserungen erreicht werden können. Die nun folgenden, weiteren Beispiele folgen alle dem hier ausführlich dargestellten Schema der technisch-wirtschaftlichen Bewertung, werden aber kürzer dargestellt.

## 2.2 Beispiel Druckluftantrieb

Zur Betätigung von Geräten der verschiedensten Art, z. B. von Trennschaltern, werden oftmals Druckluftantriebe verwendet. Die translatorische Bewegung einer Kolbenstange wird dabei über einen Kurbeltrieb in eine Drehbewegung umgewandelt; diese bewirkt dann z. B. das Öffnen und Schließen der Trennmesser eines Trennschalters.

In großen elektrischen Anlagen hat es sich als notwendig erwiesen, die Trennschalter sowohl in der Ein- als auch in der Aus-Stellung zu verriegeln, damit sich z. B. bei Kurzschluß infolge der großen elektrodynamischen Kräfte der Trennschalter nicht unbeabsichtigt öffnet bzw. ein geöffneter Trennschalter nicht ohne weiteres von Hand eingeschaltet werden kann, womit u. U. eine Gefährdung des Bedienungspersonals verbunden wäre. Ferner ist es erforderlich, die Stellung der Schalter einer Bedienungswarte zu melden.

Bild 14 zeigt die bisherige Ausführung eines Druckluftantriebes (Variante 1). Um die Forderungen für Verriegelung und Rückmeldung zu erfüllen, wurden nachträglich die pneumatische Sperrvorrichtung und die Hilfsventile angebaut. Damit läßt sich einerseits eine mechanische Blockierung der Kurbel, andererseits ein pneumatisches Kommando in der höchsten und tiefsten Stellung des Kolbens erreichen. Die Sperrvorrichtung verhindert eine Handbetätigung des Trennschalters. Erst nach Einschalten der Druckluft wird der Sperrstift zurückgedrückt, worauf sich der Trennschalter bewegen läßt.

Durch Berücksichtigung der Verriegelungs- und Rückmeldeforderungen wurde die anfänglich sehr einfache Konstruktion komplizierter. Die Zusatzeinrichtungen haben die Kosten des Antriebes wesentlich erhöht. Deshalb entstand der Wunsch, in einer Neukonstruktion die Erfüllung sämtlicher Forderungen organisch zu vereinigen.

## Aufgabenstellung

Es handelt sich bei diesem Beispiel um eine Aufgabe mit Festforderungen; Mindestforderungen sind nicht vorgeschrieben.

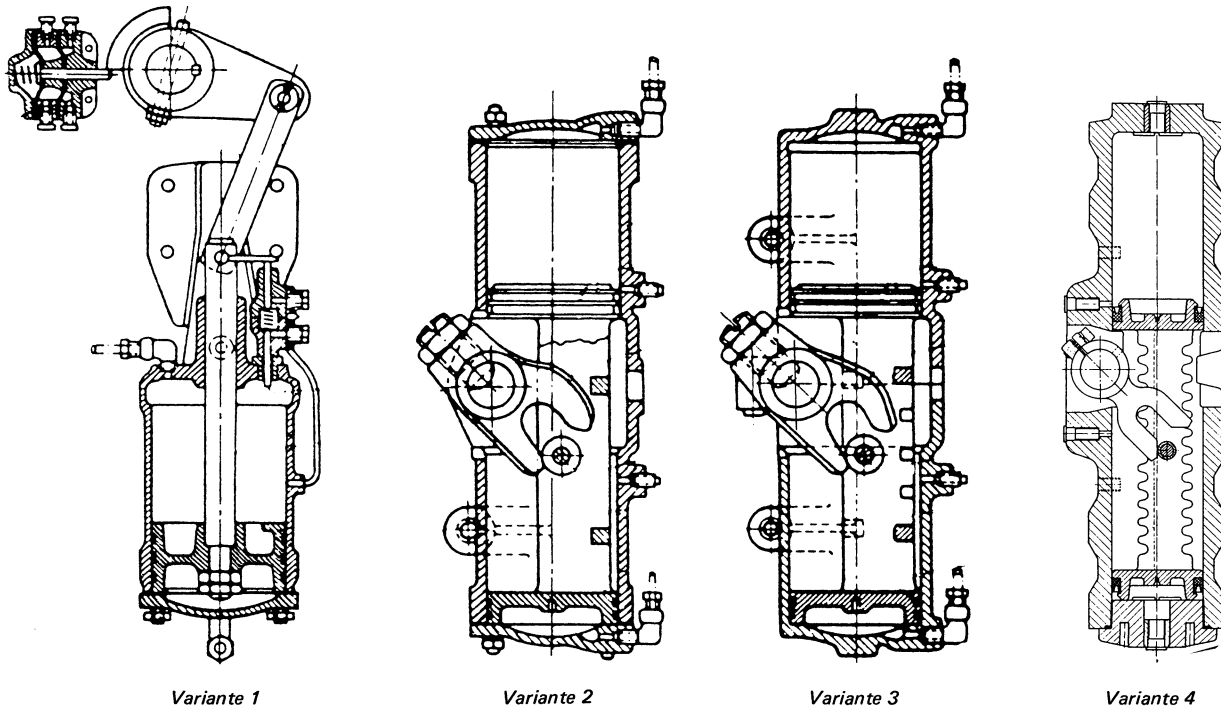


Bild 14. Druckluftantrieb

#### Gebrauchsgebundene Festforderungen:

|                            |               |
|----------------------------|---------------|
| Arbeitsvermögen            | 60 Nm         |
| Drehwinkel                 | 90°           |
| Schaltzeit                 | etwa 1 s      |
| mittlerer Betätigungsdruck | 5 bar ± 2 bar |

Verriegelung des Antriebes in ein- und ausgeschalteter Stellung; pneumatische Rückmeldung beim Erreichen der Endstellungen.

#### Gebrauchsgebundene Wünsche

Der Antrieb ist möglichst so zu konstruieren, daß die normale Achshöhe des angetriebenen Gerätes nicht geändert zu werden braucht; Möglichkeit der Entriegelung und Handbetätigung sowie des nachträglichen Anbaues im Betrieb ohne Ausbau des Trennschalters.

#### Herstellgebundene Festforderungen

Zylinder muß auf vorhandenem Feinstbohrwerk bearbeitet werden können. Außerdem sind genormte Druckluftverschraubungen zu verwenden.

#### Herstellgebundene Wünsche

Gestaltung so, daß vielseitige Anwendung möglich ist und der Zusammenbau im Werk durch ungelernete Arbeitskräfte erfolgen kann.

#### Zulässige Herstellkosten

Die zulässigen Herstellkosten  $H_{zul}$  werden entsprechend der Marktlage für einen erwarteten Umsatz von 1000 Stück/Jahr ermittelt und festgeschrieben.

#### Beschreibung des neuen Lösungsvorschlages

In Bild 14 ist der neue Lösungsvorschlag (Variante 2) dargestellt. Der Druckluftantrieb selbst hat keine eigene Welle, sondern wird unmittelbar auf die Trennschalterwelle aufgesteckt und mit einer Schraube derart am Gestell befestigt, daß ein Mitdrehen des Antriebes verhindert wird.

Strömt Druckluft hinter den unteren Kolben, so bewegt sich die Rolle zunächst um ein kleines Stück leer, greift dann in die Kurbel ein und dreht diese um 90° entgegen dem Uhrzeigersinn.

Der Vorgang in entgegengesetzter Richtung läuft sinn gemäß ab. Das äußere Ende der gabelartigen Kurbel ist derart geformt, daß beim Versuch, die Kurbel aus ihrer in Bild 14 gezeichneten Endstellung zu drehen, die auf die Rolle ausgeübte Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung des Kolbens steht und demnach den Kolben nicht bewegen kann. Dadurch ist der Trennschalter in beiden Endstellungen verriegelt.

Die Ergebnisse der technisch-wirtschaftlichen Bewertung der ursprünglichen Ausführung (Variante 1) und des ersten Lösungsvorschlages (Variante 2) sind in Tabellenform in Bild 15 und im s-Diagramm in Bild 16 dargestellt. Technische und wirtschaftliche Wertigkeit von Variante 2 liegen noch unter dem Wert von 0,8. Es empfiehlt sich also, den ersten Entwurf unter Verwendung der vorliegenden technisch-wirtschaftlichen Bewertung weiter zu verbessern.

Für die Verbesserung der technischen Wertigkeit empfiehlt es sich, an den Punkten anzusetzen, die bei

| Technische Merkmale   | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 | Ideal |
|---|------------|------------|------------|------------|-------|
| Einfachheit, gemessen an der Zahl der größeren Konstruktionsteile | 1          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Einfachheit, gemessen an der Zahl der Kleinteile                  | 1          | 2          | 3          | 3          | 4     |
| Geringe Breite des Antriebes                                      | 3          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Einfachheit der Geradföhrung                                      | 2          | 4          | 4          | 4          | 4     |
| Kleinheit des Hubes   | 3          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Kleinheit des Raumbedarfs   | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Unabhängigkeit von Abdichtungen                                   | 1          | 2          | 4          | 4          | 4     |
| Kleinheit des Gewichtes   | 3          | 2          | 3          | 3          | 4     |
| Kleinheit der Haftreibung   | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Kraftschlüssigkeit  | 1          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Kleinheit der bewegten Massen                                     | 3          | 2          | 2          | 2          | 4     |
| Anpassen an das Drehmoment des anzutreibenden Gerätes             | 3          | 2          | 2          | 2          | 4     |
| Kleinheit des Abfalls bei der Bearbeitung                         | 3          | 2          | 3          | 4          | 4     |
| Einfachheit der Einspannmöglichkeit bei der Bearbeitung           | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Einfache Gießbarkeit  | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Kleinheit der Ansprüche an Feinbearbeitung                        | 1          | 2          | 2          | 4          | 4     |
| Zusammenbau durch ungelernte Arbeitskräfte                        | 1          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Einfachheit der Verpackung  | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Kleinheit der Abnutzung   | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Möglichkeit des nachträglichen Anbaues im Betrieb                 | 2          | 2          | 4          | 4          | 4     |
| Betriebssicherheit  | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Frostunempfindlichkeit  | 2          | 3          | 3          | 3          | 4     |
| Möglichkeit der Entriegelung und Handbetätigung                   | 0          | 0          | 3          | 3          | 4     |
| Summe   | 44         | 59         | 69         | 72         | 92    |
| Technische Wertigkeit x   | 0,48       | 0,64       | 0,75       | 0,78       | 1,00  |
| Wirtschaftliche Wertigkeit y                                      | 0,64       | 0,66       | 0,72       | 0,76       | 1,00  |

Bild 15. Druckluftantrieb, technische und wirtschaftliche Bewertung

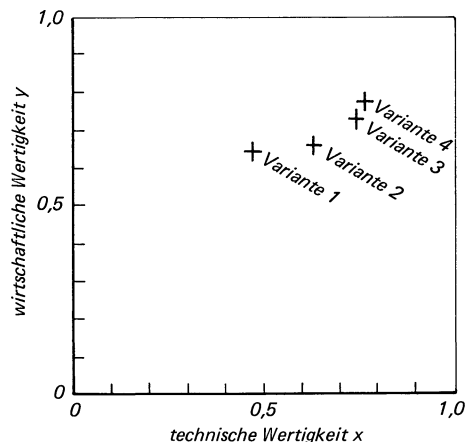


Bild 16. Druckluftantrieb, s-Diagramm

der technischen Bewertung besonders schlecht abgeschnitten haben:

- Durch Zusammengießen der Zylinderdeckel mit dem in der Mitte quergeteilten Zylinder verringert sich die Anzahl der Kleinteile von 40 auf 26.  
*Verbesserung: 1 Punkt*
- Durch Übergang auf zwei topfartige Zylinder fallen sämtliche Abdichtungen mit Ausnahme der

Kolbendichtungen weg. Die Bearbeitung läßt sich trotzdem auf dem Feinstbohrwerk durchführen. Durch gemeinsames Gießen je zweier Töpfe ist die Kernhaltung einwandfrei.

*Verbesserung: 2 Punkte*

- Durch Wegfall der Zylinderdeckel, Verringerung der Wanddicke sowie des Spanvolumens sinkt das Gewicht um 15%.  
*Verbesserung: 2 Punkte*
- Eine Verringerung der bewegten Massen, beispielsweise durch Übergang auf Leichtmetallkolben, wird zunächst nicht vorgenommen.
- Eine bessere Drehmomentanpassung ist nur bei Abgehen vom zugrundeliegenden Konstruktionsprinzip möglich.
- Die Zylinderbohrung verlangt nach wie vor eine erhebliche Genauigkeit.

Die konstruktiven Verbesserungen beim Übergang von Variante 2 zu Variante 3 ergeben bei der technischen Bewertung insgesamt 10 Punkte, die technische Wertigkeit steigt von 0,64 auf 0,75, Bild 15 und 16.

Für die Verbesserung der wirtschaftlichen Wertigkeit empfiehlt es sich, an den Bauteilen oder Baugruppen

anzusetzen, die bei der wirtschaftlichen Bewertung durch besonders hohen Kosten auffallen.

Beim Übergang von Variante 1 zu Variante 2 wurde das Bruttogewicht des Antriebes um etwa 15 % gesenkt und damit die Materialkosten um etwa 6 %. Gleichzeitig konnten die Fertigungslohnkosten um etwa 10 % gesenkt werden. Damit wurden die Herstellkosten um etwa 8 % gesenkt, die wirtschaftliche Wertigkeit stieg von 0,65 auf 0,71, Bild 15 und 16.

Der erzielte Fortschritt bei der technischen wie bei der wirtschaftlichen Bewertung rechtfertigt die weitere Durcharbeitung der Konstruktion gemäß dem verbesserten Entwurf (Variante 3).

Dank neuer technologischer Verfahren gelang im Laufe der Jahre eine weitere Verbesserung der Konstruktion zu Variante 4, Bild 14, deren technische und wirtschaftliche Wertigkeit ebenfalls in Bild 15 und dem s-Diagramm in Bild 16 aufgenommen ist. Ein wesentliches Merkmal von Variante 4: Die beiden topfartigen Zylinder werden nun aus Epoxidharz gegossen. Beim Gießen wird ein polierter Kern verwendet, dadurch wird die Innenoberfläche der Zylinder so genau und glatt, daß keinerlei Nacharbeit mehr erforderlich ist, wodurch die Herstellkosten erheblich gesenkt werden [3].

### 2.3 Beispiel Klappenantrieb

Klappenantriebe dienen speziell zur Verstellung von Rohrleitungsklappen, aber auch zum Antrieb von Ringblenden, Schleusentoren, Türen von Glühöfen u. a. Beim Antrieb von Rohrleitungsklappen kann der Klappenantrieb sowohl Steuer- als auch Regelaufgaben haben.

Die Aufgabenstellung für den Konstrukteur beinhaltet folgende Forderungen:

- Stellwinkel der abtreibenden Wellen:  $90^\circ$  bis  $120^\circ$
- Stellzeiten:  $20 \text{ s}/120^\circ$  bis  $120 \text{ s}/120^\circ \pm 1 \text{ min}^{-1}$  bis  $0,16 \text{ min}^{-1}$
- Verwendung von 2- bis höchstens 8poligen Drehstrommotoren (Drehzahl  $3000 \text{ min}^{-1}$  bis  $750 \text{ min}^{-1}$ ). 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
- Ausführung als Seriengetriebe und leichte Umbaumöglichkeit auf andere Stellzeiten ist vorzusehen.

Den ersten Entwurf zeigt Bild 17: Der Antrieb erfolgt wahlweise über ein Handrad oder über einen (nicht gezeichneten) Motor. Die erforderliche hohe Untersetzung erfolgt über ein Planetengetriebe und über ein selbsthemmendes Schneckengetriebe. Das Antriebsmoment stützt sich über Schneckenrad, Schnecke und eine kräftige Schraubenfeder gegen das Gehäuse ab. Sollte die Klappe einmal klemmen und dadurch ein unzulässig hohes Drehmoment erfordern, so wandert die Schraubenfeder so weit aus, daß sie über einen Endschalter den Motor ausschaltet.

Die technisch-wirtschaftliche Bewertung führte vor allem zu der Forderung, den Entwurf erheblich zu

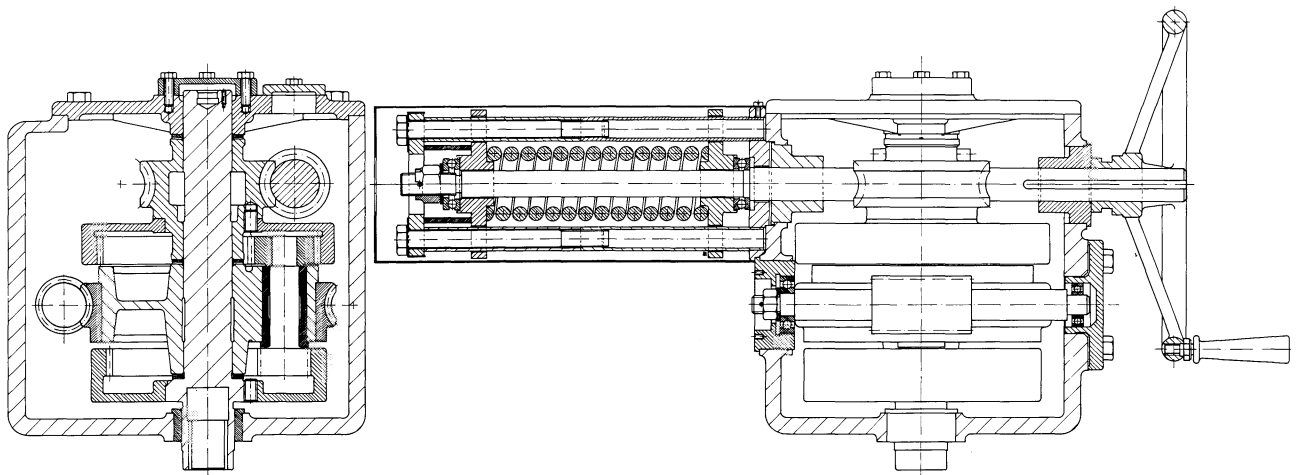


Bild 17. Klappenantrieb, Entwurf 1

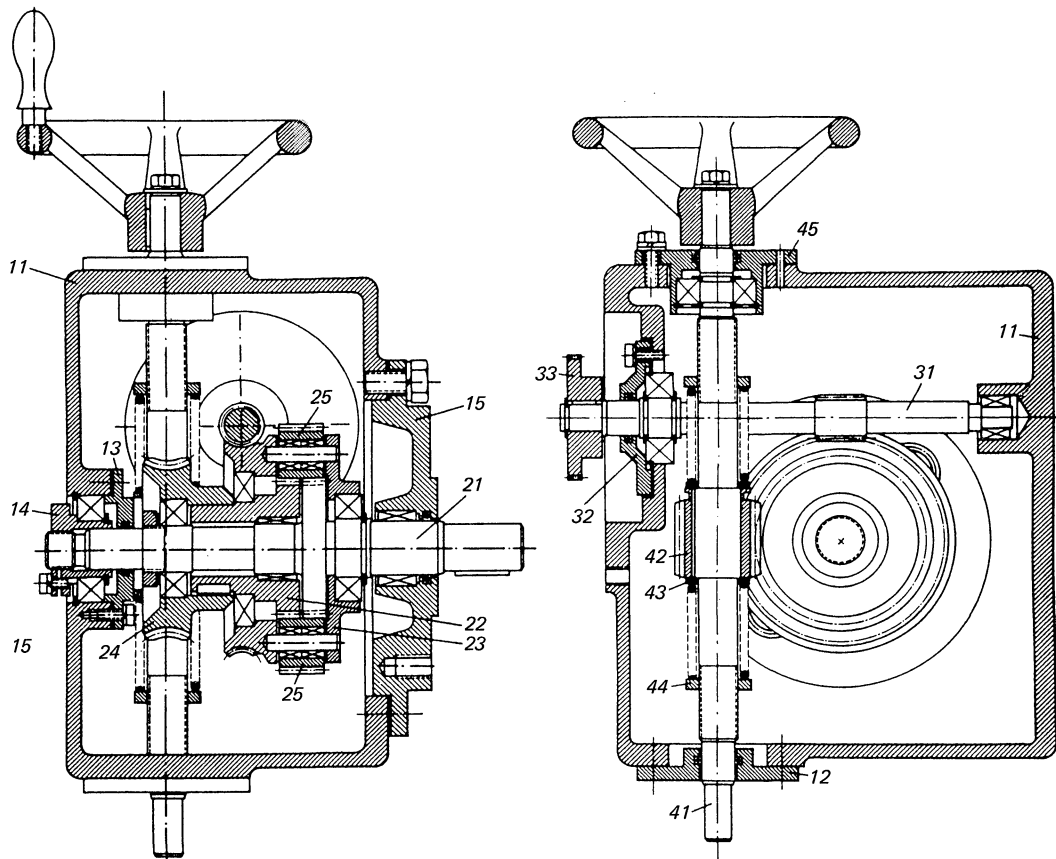


Bild 18. Klappenantrieb, Entwurf 2

vereinfachen und zu verbilligen. Das wurde im wesentlichen durch zwei Maßnahmen erreicht: Das Planetengetriebe mit den teuren Innenverzahnungen wurde ersetzt durch eines nur mit Außenverzahnungen. Der „Federtopf“ konnte ganz weggelassen werden, die Ausschaltfeder wurde ins Getriebegehäuse integriert.

Das Ergebnis der Konstruktionsarbeit ist Entwurf 2, Bild 18: Die Forderung der 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 (Hohlschnecke) ist auf der Handradwelle gegen vorgespannte Federn verschiebbar gelagert. Die Federn dienen als Drehmomentwaage. Bei einer Momentüberschreitung an der Abtriebswelle verschiebt sich die Schnecke und betätigt eine nicht dargestellte Schalteinrichtung (Endschalter, Schütz). Durch ein einstufiges Motorvorgelege ist das leichte Anpassen der Getriebe an andere Stellzeiten innerhalb bestimmter Grenzen möglich.

Die wirtschaftliche Bewertung (speziell für Variante 2) wurde ausführlich in Richtlinie VDI 2225 Blatt 1 (Entwurf) behandelt. Die technische Bewertung ergab

eine Verbesserung von  $x_1 = 0,5$  auf  $x_2 = 0,7$ . In Bild 19 ist das s-Diagramm für die beiden Varianten wiedergegeben.

Die wirtschaftliche Wertigkeit der zweiten Variante ist mit 0,84 schon sehr gut. Man könnte sie, wie in Richtlinie VDI 2225 Blatt 1 (Entwurf) ausführlicher behandelt wurde, sogar noch etwas verbessern durch den Versuch, einige Großteile zu vereinfachen und an der großen Anzahl von Wälzlagern zu sparen.

Die technische Wertigkeit der zweiten Variante ist dagegen mit 0,70 noch nicht zufriedenstellend. Anregungen zur Verbesserung können aus Schwachstellen der technischen Bewertung entnommen werden.

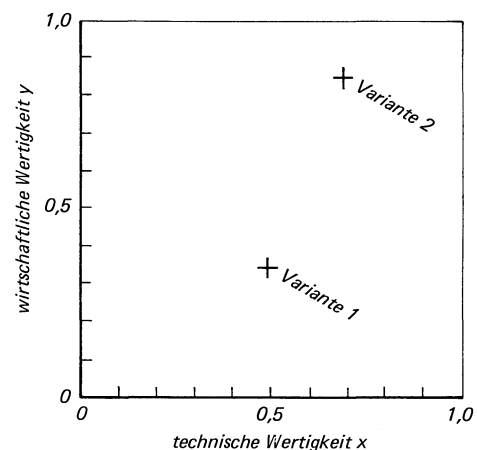


Bild 19. Klappenantrieb, s-Diagramm

2.4 Beispiel Abschleppkran

Es wurde eine Reihe von Abschleppkränen, wie sie in München im Jahre 1986 im Einsatz waren, aufgenommen und maßstäblich skizziert, Bild 20 bis 25. Diese einzelnen Varianten wurden nach den Regeln dieser Richtlinie technisch und wirtschaftlich bewertet. Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Bild 26 in Form einer Tabelle und in Bild 27 in Form eines s-Diagramms zusammengefaßt. Die wirtschaftliche Wertigkeit der einzelnen Varianten schwankt zwischen dem schlechten Wert  $y = 0,45$  und dem

akzeptablen Wert  $y = 0,84$ . Die technische Wertigkeit jedoch liegt bei allen Varianten bei dem schlechten Wert von  $x = 0,5$  oder noch darunter.

Wenn die technische Wertigkeit deutlich unter 0,6 liegt, wie es hier bei allen Varianten der Fall ist, dann ist es erfahrungsgemäß nahezu aussichtslos, die technische Wertigkeit durch einzelne kleinere Verbesserungen auf einen befriedigenden Wert von 0,8 oder mehr zu erhöhen. In solchen Fällen ist eine prinzipielle Umkonstruktion anzustreben, um entscheidende technische Verbesserungen zu erreichen.

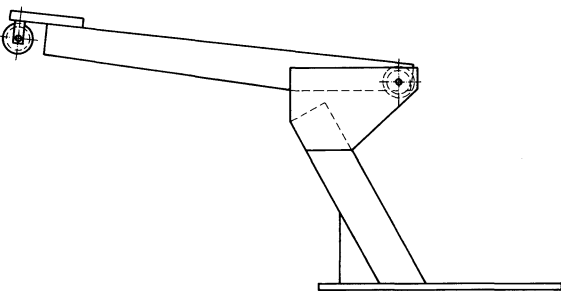


Bild 20. Abschleppkran, Variante 1

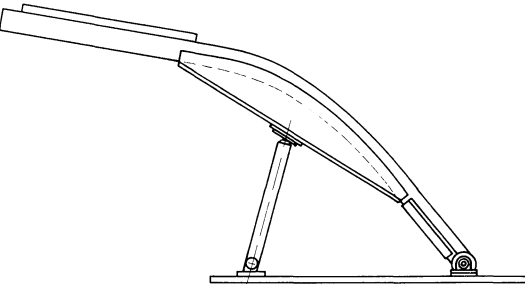


Bild 21. Abschleppkran, Variante 2

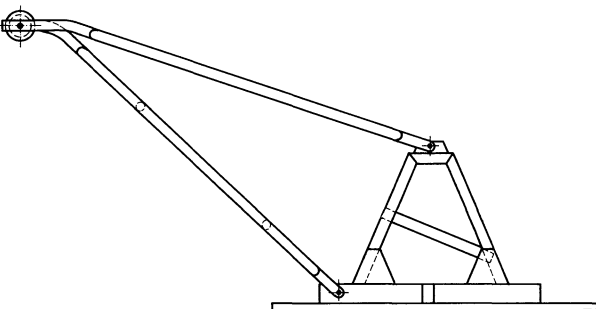


Bild 22. Abschleppkran, Variante 3

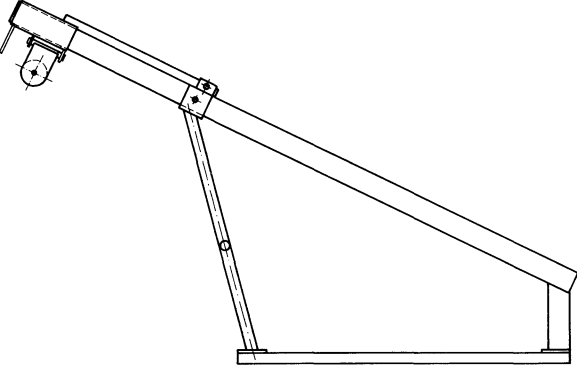


Bild 23. Abschleppkran, Variante 4

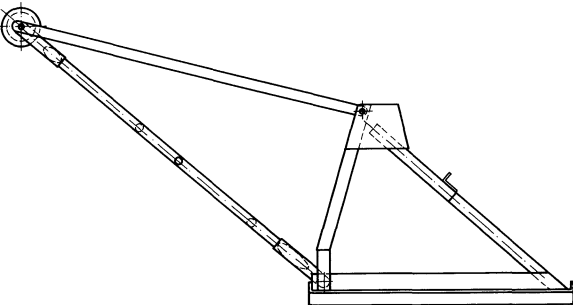


Bild 24. Abschleppkran, Variante 5

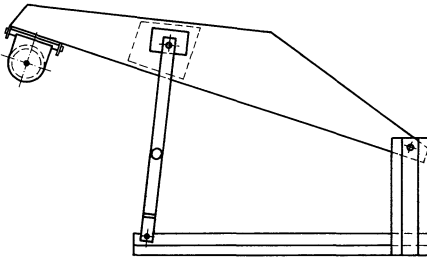


Bild 25. Abschleppkran, Variante 6

| Vairante Nr.                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | Ideal |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Tragkraft                    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 4     |
| Benutzerfreundlichkeit       | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
| Wartungsfreundlichkeit       | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
| Sicherheit                   | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 4     |
| Summe                        | 7    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 16    |
| Technische Wertigkeit x      | 0,44 | 0,50 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 1,00  |
| Wirtschaftliche Wertigkeit y | 0,84 | 0,50 | 0,55 | 0,62 | 0,47 | 0,45 | 1,00  |

Bild 26. Abschleppkran, technische und wirtschaftliche Bewertung



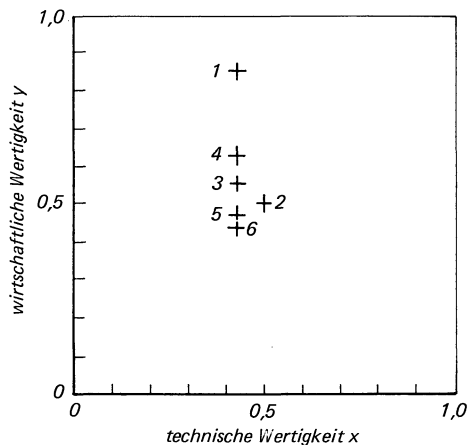


Bild 27. Abschleppkran, s-Diagramm

## 2.5 Beispiel Impulsantrieb

Die Besonderheit bei diesem Beispiel liegt darin, daß die technisch-wirtschaftliche Bewertung schon zu einem Zeitpunkt vorgenommen wurde, als noch keine maßstäblichen Zeichnungen oder Skizzen vorlagen, sondern nur die mehr schematischen Zeichnungen aus den entsprechenden Patentanmeldungen. Dadurch wird die Ermittlung der technischen Wertigkeit erschwert und die Ermittlung der wirtschaftlichen Wertigkeit unsicher. Die technisch-wirtschaftliche Bewertung hatte hier jedoch trotz dieser Schwierigkeiten eine deutliche Aussage zum Ergebnis, welche von verschiedenen möglichen prinzipiellen Entwicklungsrichtungen weiter zu verfolgen war.

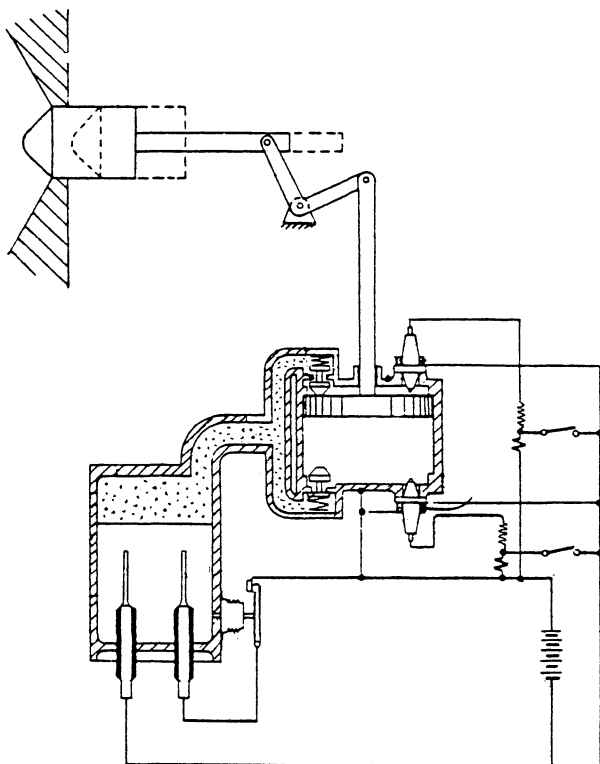


Bild 28. Doppeltwirkender Knallgasantrieb

**Aufgabenstellung:** Es sollte ein neuartiger Antrieb zum Ausschalten eines Hochspannungsschalters entwickelt werden. Das Ausschalten muß im Störfall sehr schnell erfolgen. Da ein wesentlicher Störfall der Kurzschluß ist, muß der Antrieb von der normalen elektrischen Stromversorgung unabhängig sein und z. B. durch gespeicherte Energie betrieben werden können. In die engere Wahl kamen drei neuartige Antriebsprinzipien, nämlich der „Chemische Antrieb“, der „Kinetische Antrieb“ und der „Elektrodynamische Antrieb“.

In Bild 28 ist der „Chemische Antrieb“ skizziert. Die Energiespeicherung geschieht durch Knallgas, das bei Bedarf gezündet wird und über einen Pleuollen den Antrieb in Bewegung setzt.

Beim „Kinetischen Antrieb“ ist die Energie in einer rotierenden Schwungmasse gespeichert, die schlagartig mit dem Antrieb gekoppelt werden kann, Bild 29.

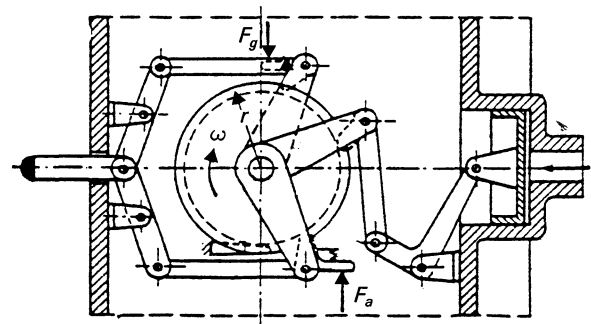


Bild 29. Doppeltwirkender kinetischer Antrieb

Beim „Elektrodynamischen Antrieb“ ist die Energie in einem Kondensator gespeichert. Bei Bedarf wird dieser über eine Spule entladen. Über der Spule liegt ein massiver Kurzschlußring, in dem ein hoher Strom induziert wird. Die elektrodynamischen Kräfte zwischen Spule und Kurzschlußring beschleunigen den Kurzschlußring schlagartig und liefern damit die geforderte Bewegungsenergie, Bild 30.

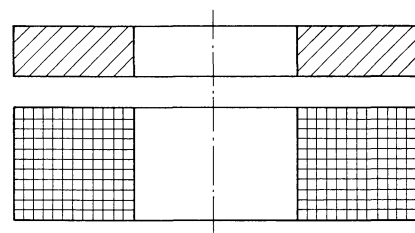


Bild 30. Elektrodynamischer Antrieb nach Kesselring

Das Ergebnis einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung ist in Form eines s-Diagramms in Bild 31 dargestellt. Anhand dieses Diagrammes wurde ent-

schieden, den elektrodynamischen Antrieb Variante 1 vor allem kostenmäßig und wenn möglich auch technisch zu verbessern. Die Variante 2 dieses Antriebes war eine erfolgreiche Lösung dieses Problems [3].

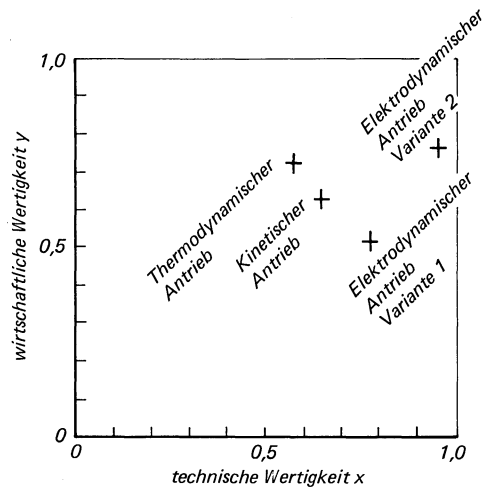


Bild 31. Impulsantrieb, s-Diagramm

## Schrifttum

- [1] VDI 2222 Bl. 1 Konstruktionsmethodik; Konzipieren technischer Produkte  
VDI 2222 Bl. 2 Konstruktionsmethodik; Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen
- [2] VDI 2225 Bl. 1 Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Anleitung und Beispiele  
VDI 2225 Bl. 2 Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Tabellenwerk
- [3] Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Lehrgangshandbuch. Düsseldorf: VDI-Bildungswerk 1985
- [4] Kesselring, F.: Konstruieren und Konstrukteur. Z. VDI 81 (1937) S. 365/371 und 82 (1938) S. 1099/1100.
- [5] Kesselring, F.: Die „starke“ Konstruktion. Z. VDI 86 (1942) S. 321/330
- [6] Kesselring, F.: Bewertung von Konstruktionen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1951
- [7] Kesselring, F.: Technische Kompositionslehre. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1954
- [8] Krumme, W.: Konstruktionserfahrungen aus dem Maschinen- und Gerätebau. München: Hanser, 2. Auflage 1951