

Gerhard Hoenow
Thomas Meißner

Konstruktionspraxis im Maschinenbau

Vom Einzelteil zum Maschinendesign



5., überarbeitete Auflage

HANSER



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-wp7d0-qsv37

plus.hanser-fachbuch.de



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Gerhard Hoenow

Thomas Meißner

unter Mitarbeit von Stephan Henschler und Sylvio Simon

Konstruktionspraxis im Maschinenbau

Vom Einzelteil zum Maschinendesign

5., überarbeitete Auflage

HANSER

Autoren:

Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Hoenow

Prof. Dr.-Ing. Thomas Meißner

unter Mitarbeit von:

Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon

Stephan HERNSCHIER (M. Eng.)



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en), Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en), Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2021 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Anne Kurth

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelbild: © Zemmler Siebanlagen GmbH, Massen-Niederlausitz

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-46485-8

E-Book-ISBN 978-3-446-46499-5

Inhalt

Vorwort	IX
1 Einführung	1
1.1 Ausgangspunkt	1
1.2 Analyse als Voraussetzung für das Gestalten von Maschinen	3
1.3 Variantenbildung und Varianteneinschränkung	10
1.4 Erfinden oder konstruieren?	17
1.5 Lösungen	20
2 Fertigungs- und kostengerechtes Gestalten	23
2.1 Die Verantwortung des Konstrukteurs	23
2.2 Wirkflächen und Wirkflächenvariation	31
2.3 Fertigungstechnische Grundrichtungen und Vorzugsformen	34
2.3.1 Eine Übersicht für den Konstrukteur	34
2.3.2 Funktionsintegration	37
2.3.3 Integralbauweise	41
2.3.4 Armierungsbauweise	44
2.3.5 Differenzialbauweise	48
2.4 Formteilgestaltung	48
2.4.1 Sandguss-Formteile	50
2.4.2 Formteilgestaltung für Dauerformen	56
2.4.3 Besonderheiten von Kunststoff-Formteilen	62
2.4.4 Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV)	72
2.4.5 Gesenkschmiede-, Fließpress- und Feinschneid-Formteile	77
2.4.6 Formteilfertigung durch Innendruck	83
2.4.7 Formteilherstellung durch additive Fertigung	88

2.5	Die Formenwelt des Rundknetens	92
2.6	Lösungen	95
3	Spezielle Anforderungen und Gestaltungsmittel	97
3.1	Minimaler Bauraum für eine Baugruppe	97
3.2	Vom Vollkörper zum Minimalkörper	106
3.3	Zum Problem minimaler und optimaler Bauraum für eine Maschine ..	114
3.4	Segmentierung und Lamellenbauweise	118
3.5	Strukturierte Feinbleche	120
3.6	Das „Baelement“ Elastizität	125
3.7	Das „Baelement“ Bruchfläche	130
3.8	Die hohle Welle	132
3.9	Wellendichtungen für hohe Drehzahlen	135
3.10	Dicht ohne Dichtung	139
3.11	Kräfte, Kraftwirkungen und deren zweckmäßige Beherrschung	143
3.12	Lösungen	158
4	Füge- und montagegerechtes Gestalten	161
4.1	Zur Auswahl der Fügeverfahren	161
4.2	Schraubenverbindungen, geschraubte Verbindungen und andere Gewindeanwendungen	168
4.2.1	Gewinde am Maschinenteil	168
4.2.2	Zum Sichern von Schrauben und anderen geschraubten Baelementen	173
4.2.3	Der Rundstahl-Schraubbügel und das Spannband	177
4.2.4	Unverlierbare Schrauben für Reparaturen vor Ort	179
4.3	Laserschweißverbindungen	180
4.4	Montagegerechtes Gestalten	188
4.4.1	Wenige Baelemente – die entscheidende Größe	188
4.4.2	Fügen beim Urformen	190
4.4.3	Integrierte Verbindungselemente	192
4.5	Zur Gestaltung der zu montierenden Baelemente	199

5	Zum Gestalten von Maschinen	201
5.1	Anlässe für neue Maschinenkonstruktionen	201
5.2	Konstrukteuraufgaben und Designeraufgaben	205
5.3	Zur Gliederung einer Maschine in Baugruppen	213
5.4	Großteilgestaltung – die Gestaltung von Tragwerken	221
	5.4.1 Einleitende Bemerkungen	221
	5.4.2 Tragwerke in Gussbauweise	223
	5.4.3 Geschweißte Tragwerke	225
	5.4.4 Die Schraubbauweise	231
	5.4.5 Die Zugankerbauweise	233
	5.4.6 Granit – natürliches Gestein als Basismaterial für Präzisionsmaschinen	234
	5.4.7 Mineralguss – nicht nur ein neuer Werkstoff!	238
	5.4.8 Tragwerke aus Kunststoffen mit und ohne Faserverstärkung ...	249
	5.4.9 Zur Auswahl einer zweckmäßigen Tragwerksbauweise	251
5.5	Das Maschinendesign und seine Teilaufgaben	252
	5.5.1 Die Herangehensweise – wer macht den ersten Schritt?	252
	5.5.2 Baukörpergestaltung – die Kernaufgabe des Maschinendesigns	254
	5.5.3 Rohrleitungen, Schläuche, Kabel (RSK) – das vergessene Kapitel	270
	5.5.4 Feingestaltung	276
	5.5.5 Gestaltung der Kontaktzone Mensch – Maschine	283
	5.5.6 Grafik und Farbe an der Maschine	295
	5.5.7 Die Vorteile der Zusammenarbeit Konstrukteur – Designer	299
5.6	Lösungen	300
6	Zusammenfassende Bemerkungen und Ausblick	301
7	Literatur- und Bildquellen	305
	Index	311

Vorwort

Mit diesem Buch soll ein Beitrag zur Entwicklung des konstruktiv-gestalterischen Denkens des Maschinenbaukonstruktors geleistet werden. Dieses Denken bewegt sich nicht auf wissenschaftlich fundierten Wegen, sondern in einem Grenzgebiet zwischen Wissen und Kunst. Der gute Konstrukteur durchdenkt mehr oder weniger gleichzeitig mehrere Lösungsansätze. Das geschieht zum Teil bewusst, aber auch unbewusst. Es werden anspruchsvolle Kenntnisse einbezogen, aber auch viele technisch triviale Tatsachen sind zu berücksichtigen, an passender Stelle unterstützen Entwurfsberechnungen. In diese **Gestaltungskunst** muss man sich schrittweise hineinarbeiten, um sichere Wege zu beschreiten.

Zur vollständigen Beherrschung dringt man erst – wenn überhaupt erreichbar – nach längerer Berufspraxis vor. Es können keine Rezepte vermittelt werden, die eine schnelle Entwicklung zum guten Maschinenkonstrukteur garantieren. Sicher ist nur:

- Es geht nicht schnell.
- Es erfordert viel Interesse.
- Es kann eine sehr befriedigende Tätigkeit sein.
- Jede neue Aufgabe beinhaltet Herausforderungen.

Es darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass bei aller Befriedigung im Beruf eine öffentliche Anerkennung des Konstrukteurberufs selten ist und die Wahrscheinlichkeit, dass auf dem Gebiet des Maschinenbaus heute der Name eines Konstrukteurs und Erfinders so bekannt wird, wie das für die Namen Otto und Diesel der Fall ist, dürfte „bei null liegen“. Mit dem Buch „Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau“ – im gleichen Verlag erschienen – haben die Verfasser bereits einen Teilbeitrag zur genannten Zielstellung geleistet. Während sich dieses erste Buch vorrangig an Studierende des Maschinenbaus richtet und im Wesentlichen den Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung behandelt, ist hier diese Einschränkung aufgehoben. Das heißt aber nicht, dass die Einflüsse der im Serien- und Großserienbereich einsetzbaren Fertigungsverfahren vollständig erfasst und vermittelt werden können. Es können nur die Grundrichtungen und übergreifende Gestal-

tungsregeln und -ansätze vermittelt werden, die je nach Arbeitsgebiet des Lesers durch Spezialliteratur zu ergänzen sind; auch das Internet bietet viele aktuelle und praktische Informationen. Neue Werkstoffe und Berechnungsmethoden, besonders im Zusammenhang mit Leichtbau und dynamischen Beanspruchungen, erfordern die permanente Aktualisierung des Wissens. Der fachliche Austausch ist ebenfalls wichtig, so war für dieses Buch die Mitarbeit von Ingenieuren – u. a. *Eva Herschier, Ina Meißner, Bernd Platz, Harry Thonig, Rainer Bieck* †, Studierenden der TU Dresden und der BTU Cottbus-Senftenberg und die Bereitstellung von Bildern durch verschiedene Firmen sehr wertvoll; für den ausführlichen Dank an alle Beteiligten reicht diese Seite leider nicht.

Die vielen im Buch behandelten Beispiele sind keinesfalls immer aktuellen Aufgaben entnommen, sondern sind über viele Berufsjahre der Verfasser zusammengetragen worden. Der Leser soll mit älteren Beispielen nicht in die Maschinenbaugeschichte eingeführt werden, sondern soll Sachverhalte erkennen, die er selbst auf seine heutigen und zukünftigen Aufgaben übertragen muss. Eine Konstruktionslehre, die die Lösungen für die Aufgaben von morgen beschreibt, gibt es nicht.

Der Leser sollte dieses Buch als **Begleitbuch** bei der Bearbeitung konstruktiv-gestalterischer Aufgaben in der Konstruktionspraxis und im Fachstudium betrachten, wo es ähnlich den Büchern des technischen Zeichnens und der Maschinenelemente zur Hand sein sollte.

Gerhard Hoenow und Thomas Meißner

1

Einführung

■ 1.1 Ausgangspunkt

In den letzten 50 Jahren hat sich im Maschinenbau ein gewaltiger Entwicklungssprung vollzogen. Die mechanischen Bauelemente aus klassischen metallischen Werkstoffen – vorrangig Eisengusswerkstoffe, Stähle, Leichtmetalle – wurden durch Kunststoffe, Faserverbunde bis hin zu Granit und Polymerbeton ergänzt. Die elektrischen Einrichtungen fanden in kleinen Steuerschränken, zum Teil im Maschinenfuß, ausreichend Platz. Elektrische, hydraulische und pneumatische Elemente waren in einem sehr bescheidenen Umfang in Anwendung. Manuelle Betätigung und/oder mechanische Steuerungen waren üblich. Die mechanischen Bauelemente spielten die Hauptrolle in der Maschinenbauingenieurausbildung. Mit dem Einzug der Elektronik ist ein bedeutender Wandel eingetreten. Mit Sensoren verschiedenster Art werden Funktionen und vieles andere mehr überwacht, die elektronische Steuerung ist unabdingbar (Bild 1.1), die Steuerschränke haben teilweise gewichtigere Dimensionen angenommen. Neben dem Konstrukteur und dem Elektrotechniker haben der Elektroniker und Informatiker nennenswerte und umfangreiche Aufgaben bei den Maschinenentwicklungen zu lösen. Ein bedeutender Anteil der Entwicklungsarbeit dient nicht mehr der Bauteilgestaltung, sondern der Bauelementeauswahl. Elektrische, hydraulische und pneumatische Elemente kommen in vielfältigen Variationen als Zulieferung zur Anwendung. Trotz dieser Entwicklung bleiben für viele Bereiche des Maschinenbaus die selbst entworfenen, **mechanisch wirkenden Bauteile Grundlage und ausschließlich um diese geht es in diesem Buch** (siehe Bild 1.2).

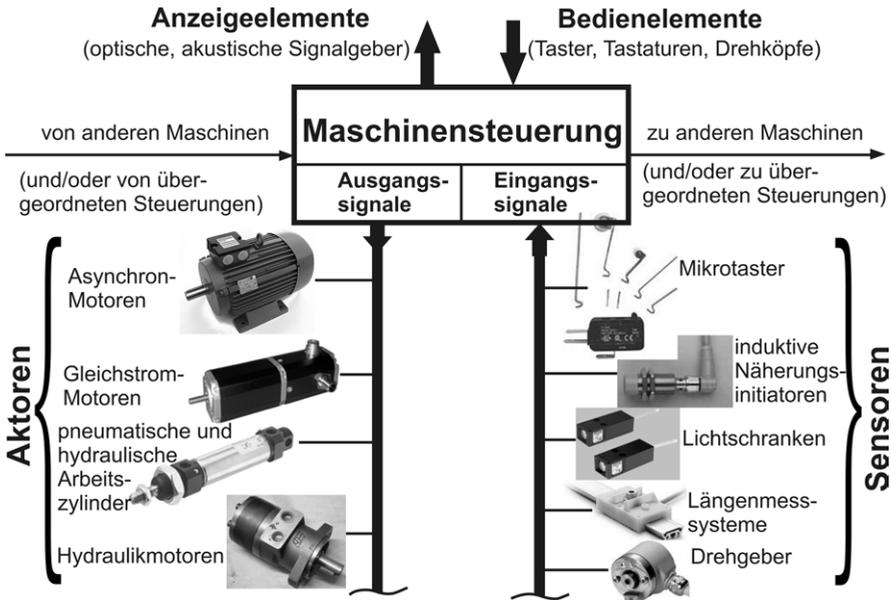


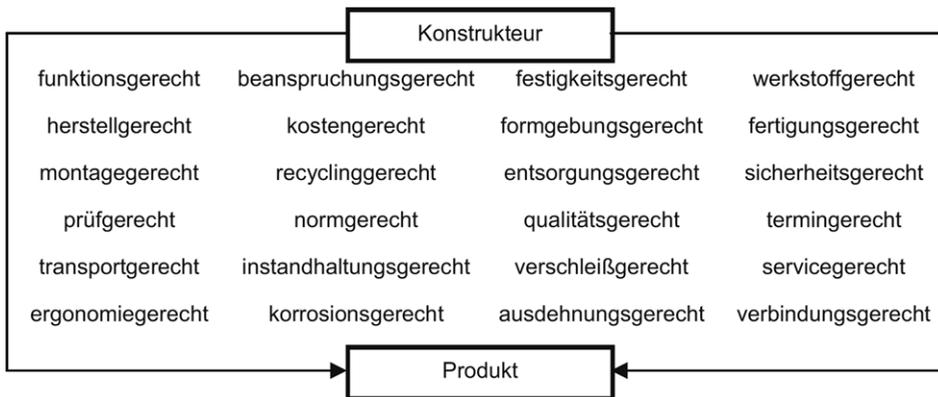
Bild 1.1 Die zentrale Funktion der Maschinensteuerung



Bild 1.2 Prototyp eines Fahrzeugs zum automatischen Rammen von Pfosten für Schutzplankensysteme (Förster Montage GmbH)

Auch heute sind die Kernstücke der Maschinen und Anlagen mechanisch wirkende Bauteile und Bauelemente – Mikroelektronik bewegt keine Pfosten und rammt sie auch nicht in den Boden.

Die vom Konstrukteur für ein Maschinenteil, eine Maschinenbaugruppe und auch für eine ganze Maschine anzustrebenden Eigenschaften sind äußerst vielfältig – Tafel 1.1 enthält dazu einen Überblick, der sicher noch ergänzt werden kann.



Tafel 1.1 Vom Konstrukteur für eine Maschine anzustrebende Eigenschaften [8]

Das vorliegende Buch erhebt keinesfalls den Anspruch, zu allen in Tafel 1.1 genannten Eigenschaften Aussagen zu treffen, obgleich sie vom Konstrukteur eigentlich immer – wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung – zu beachten sind. In computerunterstützten Entwicklungsumgebungen gibt es Assistenten zur Berücksichtigung dieser Anforderungen. So sieht das Product Lifecycle Management von Anfang an die Zusammenarbeit der relevanten Akteure und Entscheider vor – durch „simultaneous and concurrent engineering“. Alle Anforderungen bzw. Eigenschaften zu behandeln, hieße, den Umfang des Buches beträchtlich zu erweitern oder mit oberflächlichen Aussagen auszukommen. Deshalb haben sich die Verfasser auf den im Inhaltsverzeichnis genannten Umfang beschränkt.

■ 1.2 Analyse als Voraussetzung für das Gestalten von Maschinen

Jede Maschinenentwicklung basiert direkt oder indirekt auf vorangegangenen Maschinen, die als Original, als Zeichnung oder einmal gesehen und im Konstrukteurgedächtnis abgespeichert vorliegen. So wird jeder Konstrukteur – bewusst oder unbewusst – sehr häufig versuchen, Lösungsansätze für seine jeweilige Aufgabe mithilfe verfügbarer Fremdkonstruktionen zu ermitteln. Dabei sollte immer folgender Grundsatz beachtet werden:



Erst kopieren, dann kopieren. [Hesse]

Noch besser ist es allerdings, nach dem Kopieren einer aufgefundenen Konstruktion nicht das Kopieren in den Vordergrund zu stellen, sondern eine schöpferische Umsetzung auf die eigene Aufgabenstellung zu betreiben. Das nachfolgende, sehr einfache Beispiel soll diese Anforderung illustrieren. Bild 1.3 zeigt einen Meißelhalter zur Aufnahme eines Drehmeißels im Revolverkopf eines klassischen Drehautomaten. Die Erstausführung wurde aus dem Vollen gearbeitet. Beim Übergang zur Serienfertigung bestand die Aufgabe, dieses Bauelement als Feingussteil zu konzipieren. Dabei wurde die Gestalt nur unwesentlich verändert, lediglich der eingesetzte Zylinderstift wurde durch eine gegossene Wölbung ersetzt. Die erreichte Einsparung war beträchtlich, da nach dem Gießen nur noch der Spannschaft geschliffen und drei Gewindebohrungen gefertigt werden mussten. Von einer Herabsetzung der Wanddicke und Anwendung einer zweckentsprechenden Verrippung und einem hohlen Schaft – beides beim Gießen durchaus machbar – wurde kein Gebrauch gemacht.

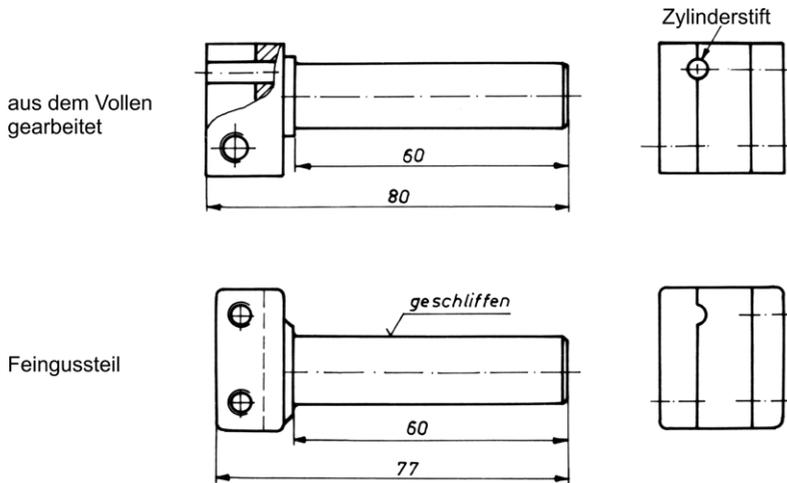


Bild 1.3 Meißelhalter für Drehautomat

Das folgende Beispiel zeigt ein Gehäuse einer Landmaschine (Bild 1.5). Die Verschraubung der beiden Gehäuseteile weist zwei unterschiedliche Gestaltungsarten auf. Zum einen ist das die flanschlose Verschraubung mit langen Schrauben und zum anderen die Verschraubung mit flanschartigem Ansatz an der Lagerstelle. Die große Steifigkeit der recht hohen Seitenwände gestattet das Verlegen von zwei Schrauben zur Lagerstelle, sodass der Flanschansatz und die zwei kurzen Schrauben entfallen können. Es muss festgestellt werden, dass die aufgefundenen Gehäusekonstruktion „nicht zu Ende gedacht“ war. Die Verwendung von Flanschen für Gehäuseverbindungen und dergleichen wurde in [34] unter dem Titel „Das Flanschproblem“ ausführlich behandelt und sei dem Konstrukteur zur Beachtung empfohlen.

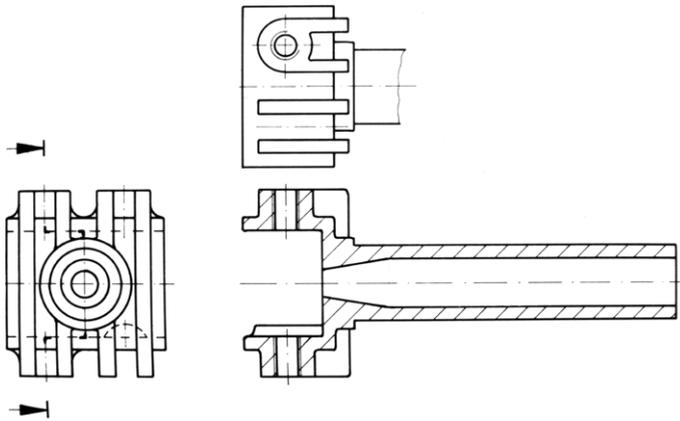
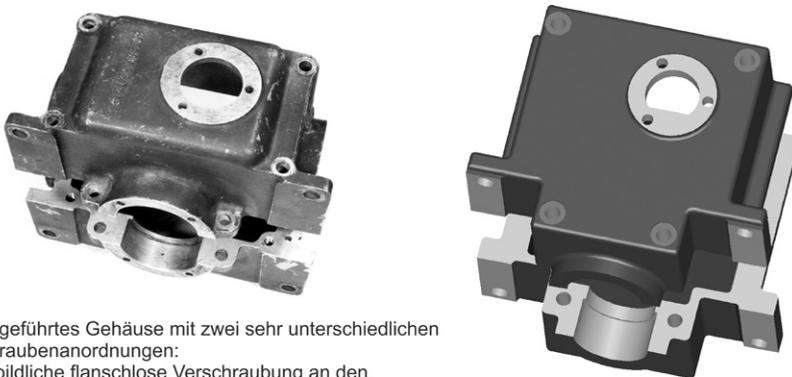


Bild 1.4 Meißelhalter 2 - Feigussteil mit herabgesetzter Wanddicke, Verrippung und hohlem Schaft. Die Möglichkeiten des Gießens wurden besser genutzt, und die Bauteilmasse wurde verringert.



Ausgeführtes Gehäuse mit zwei sehr unterschiedlichen Schraubenanordnungen:
 Vorbildliche flanschlose Verschraubung an den Gehäuseecken, aber kombiniert mit biegeweicher Flanschverschraubung an der geteilten Lagerstelle.

Änderungsvorschlag: Erläuterung im Text

Bild 1.5 Gehäuse für Kegelradgetriebe (Al-Guss)

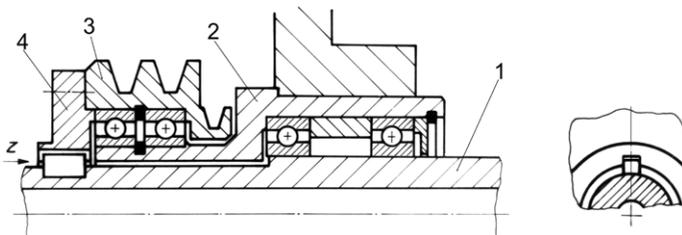


Bild 1.6 Spindelantrieb mit biegeentlasteter Keilriemenscheibe: 1 anzutreibende Hohlspindel; die abgesetzte Buchse 2 trägt die Lagerung für die Keilriemenscheibe 3, die mit dem Deckel 4 verschraubt ist, der eine Passfedernut enthält.

Etwas schwerer erkennbar ist ein konstruktiver Fehler an dem Spindelantrieb eines kleinen Drehautomaten (Bild 1.6). Die separat gelagerte Keilriemenscheibe soll den Riemenzug von der Hohlspindel fernhalten. Diese Konstruktion wurde längere Zeit produziert und war teilweise im Mehrschichtbetrieb im Einsatz. Monteure im Kundendienst mussten die Passfeder wechseln, das wurde aber für belanglos gehalten und der Konstruktionsabteilung nicht mitgeteilt. Der Kostenaufwand für die Passfeder ist gering und das Auswechseln bei Durchsicht der Maschine fast nebenbei mit erledigt. Das Verschleißbild der Passfeder (Bild 1.7) wurde Anlass für eine tieferegehende Analyse dieser Konstruktion

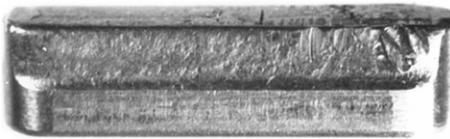


Bild 1.7
Passfeder mit Verschleißerscheinung



Aufgabe 1.1

Wie entsteht dieses Verschleißbild an der Passfeder? Hinweis: Es dürfen weitere Fehler/Mängel der Konstruktion in Bild 1.6 gefunden werden.

Mit dem folgenden Bild wird noch einmal auf das bereits im zweiten Beispiel des Kapitels erwähnte Flanschproblem eingegangen. Derartige Fußflansche sind leider sehr „zählebig“ und tauchen selbst in Lehrbüchern „unkritisch“ immer wieder auf.

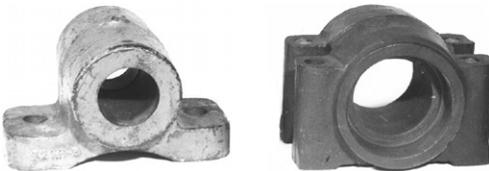
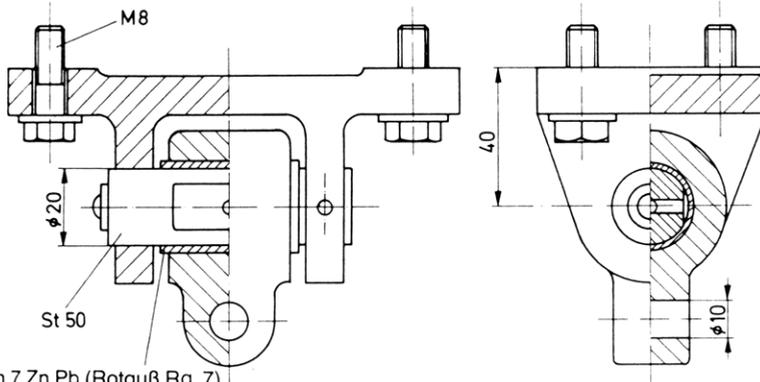


Bild 1.8 Lagerböcke. Links ausgeprägte Fußflansche, Biegung wird durch Wanddicke beherrscht (Baujahr 1920); rechts zweckmäßige Gestalt (auch für abhebende Beanspruchung geeignet)

Ein Hängelager sei daher hier zur analytischen Betrachtung vorgestellt (Bild 1.9 und Bild 1.10). Das Lager soll von unten an einem Stahlgerüst befestigt werden. Es soll eine Schwenkbewegung von ca. $\pm 30^\circ$ möglich sein. Die an der Bohrung $\varnothing 10$ angreifende, nach unten wirkende Kraft beträgt ca. 750 N. Es sind einmalig 50 Stück herzustellen. Beide Ausführungen haben einen biegebeanspruchten Fußflansch, sie unterscheiden sich in dieser Frage nicht von der „dürftigen“ Lagerbockgestaltung aus dem Jahre 1920 (Bild 1.8).



G-Cu Sn 7 Zn Pb (Rotguß Rg 7)

Bild 1.9 Hängelager in Gussausführung [4]

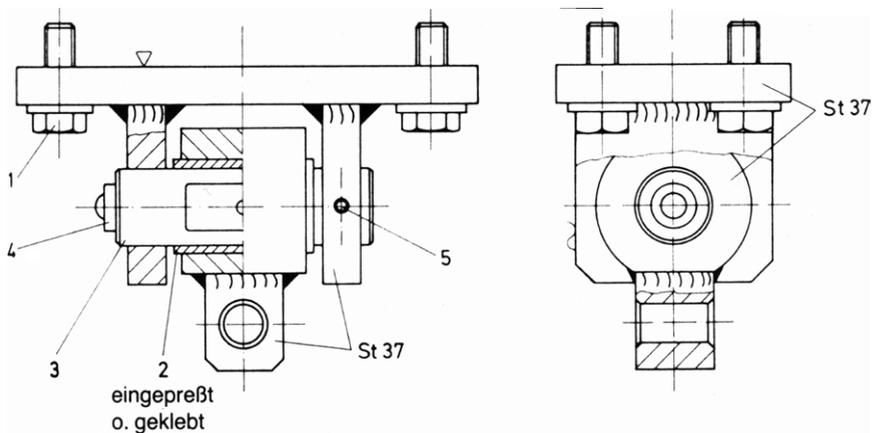


Bild 1.10 Hängelager in geschweißter Ausführung [4]



Aufgabe 1.2

Es ist eine günstigere Gestalt des Lagerkörpers für jede Ausführung vorzuschlagen und insbesondere die geschweißte Ausführung einer kritischen Betrachtung zu unterziehen.

Die Ausbildung der Lagerstellen in Schweißkonstruktionen durch Rohr ist häufig geübte Praxis. Ist diese Art der Gestaltung die einzige bzw. die zweckmäßige Alternative? Das folgende Bild 1.11 gibt darauf eine Antwort. Obgleich eine derartige Gestaltung bei Blech- bzw. Blechschweißkonstruktionen nicht neu ist, sieht man immer wieder, dass der Schritt von der als Hohlzylinder ausgebildeten Lagerstelle zu minimalen Restflächen der Lagerstelle schwer fällt.

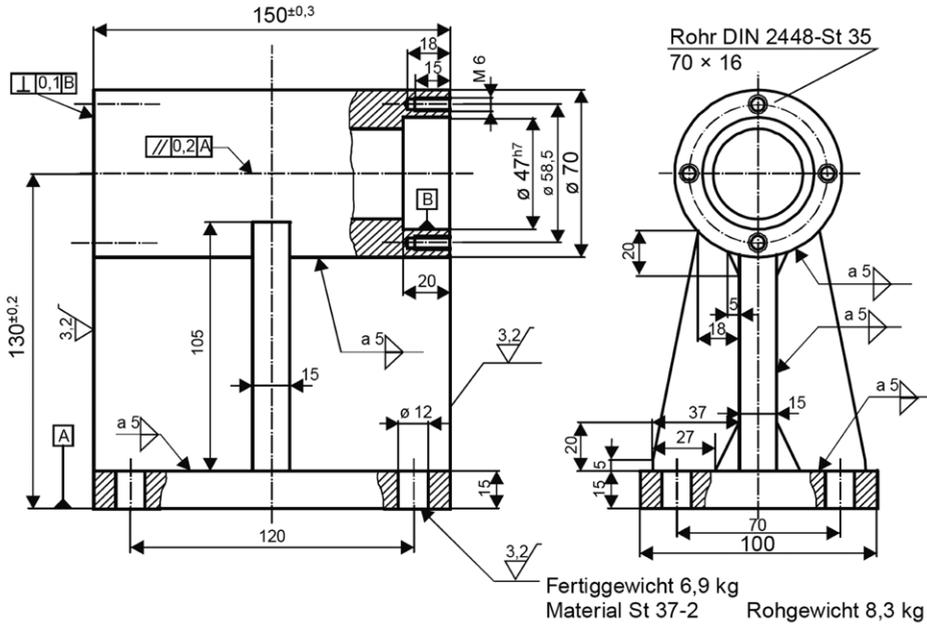


Bild 1.13 Lagerbock in Schweißausführung [15]

Die Fertigungskosten bzw. den Fertigungsaufwand gleichartiger Konstruktionen zu vergleichen, ist ein völlig richtiger Ansatz (siehe Abschnitt 2.1), wogegen das Überführen eines Gussstücks in eine Schweißkonstruktion ohne Gestaltänderung abzulehnen ist (siehe hierzu auch Bild 2.4 und Bild 2.5). Der Konstrukteur ist immer angehalten, die unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten der verschiedenen Verfahren zweckmäßig, d. h. kostengünstig, umzusetzen. Für den Leser ergibt sich daher hier die Aufgabe, eine Lagerbockgestalt zu entwerfen, die auf das dickwandige durchgehende Rohr mit 16 mm Wanddicke zur Aufnahme der beiden Lagersitze $\varnothing 47$, 20 tief verzichtet.



Aufgabe 1.3

Gesucht ist ein geschweißter Lagerbock, der in seinen Hauptmaßen und seiner Beanspruchbarkeit dem Gussbock nach Bild 1.12 entspricht.

Zusammenfassend darf festgestellt werden:

- Die Fähigkeit des Analysierens von Maschinenbauzeichnungen bzw. von Konstruktionsunterlagen ist eine grundlegende Fähigkeit, die der Konstrukteur bei jeder konstruktiven Entwicklung benötigt.

- Auch die tiefgreifenden Veränderungen der Konstrukteurtätigkeit durch das durchgängige Arbeiten mit CAD-Systemen können diese Fähigkeit nicht ersetzen.
- Jede aufgefundene Konstruktion ist bei vorgesehener Verwendung gründlich zu prüfen.

1. Funktion erkennen und durchdenken Ermittle:	<ul style="list-style-type: none"> • Feststehende Bauteile • Bewegte Bauteile (Rotation, Translation) • Kräfte und Kraftleitung • Verformungen • Funktionsmängel 	Hinweis: Die Bearbeitung von 1. und 2. steht in enger Wechselbeziehung und ist getrennt kaum möglich.
2. Gestalt der Einzelteile erkennen Ermittle:	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzung der Einzelteile • Skizzen der Einzelteile können hilfreich sein! 	
3. Genauigkeiten und Toleranzen durchdenken Hinweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Spielsitze (enges und weites Spiel) • Presssitze (geringe und große Übermaße) • Summentoleranzen (Wie werden sie beherrscht?) • Überbestimmungen vorhanden? 	
4. Herstellung der Einzelteile erkennen Hinweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Gussstück spanend bearbeitet • Schweißkonstruktion spanend bearbeitet • Aus dem Vollen gearbeitet • Strangteil • Blechteil • Erkennbare Fertigungsprobleme 	
5. Montagefolge ermitteln	<ul style="list-style-type: none"> • Ist Montagevereinfachung möglich? 	
6. Fehler und Mängel zusammenstellen Hinweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Zeichnungsfehler • Funktion; ist das Funktionsprinzip zweckmäßig? • Teilefertigung • Montage 	

Tafel 1.2 Gesichtspunkte für die analytische Beurteilung einer gegebenen Konstruktion in Gestalt einer Zusammenbauzeichnung. Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie ist für den Einstieg gedacht

■ 1.3 Variantenbildung und Varianteneinschränkung

Da kein Konstrukteur in der Lage ist, ohne Entwicklung und Betrachtung mehrerer Lösungsvarianten eine annähernd optimale Lösung zu entwerfen, wird von vielen Autoren eine umfangreiche Variantenentwicklung gefordert. Dem ist grundsätzlich zuzustimmen. Die Variantenbildung sollte jedoch nicht entarten, indem Varianten entwickelt werden, die wichtigen Gestaltungsgrundregeln widersprechen.

Im folgenden Beispiel geht es um die Regel zur Kraftleitung auf kurzen und direkten Wegen. Einige Lösungsvarianten in Bild 1.14 widersprechen gerade dieser Regel beträchtlich.

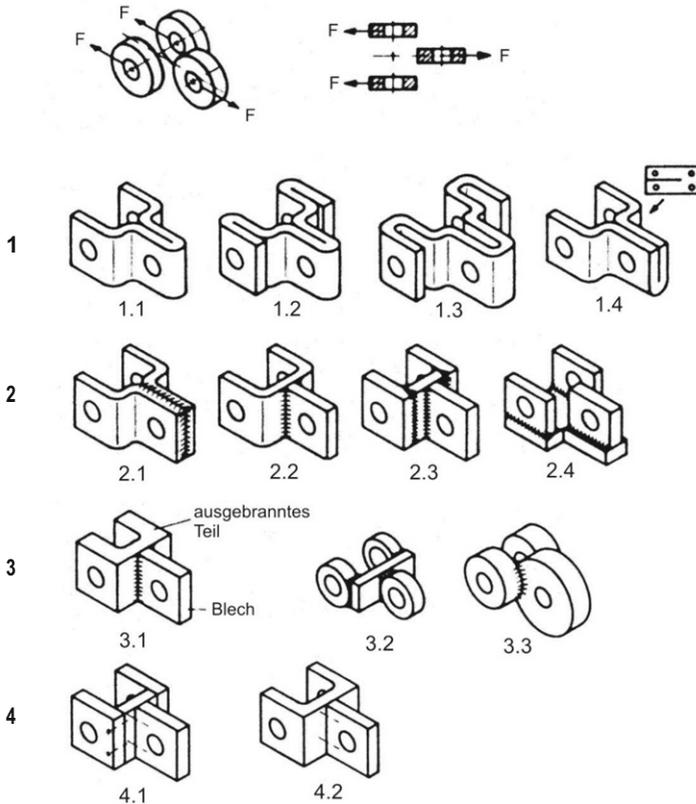


Bild 1.14 Gelenkgabel als Beispiel für Gestaltvarianten [14] (in der Originalquelle sind 39 Varianten aufgeführt mit dem Hinweis, dass weitere Ausführungen möglich sind)

Das betrifft z. B. einige Varianten der Reihen 1 und 2. Der in Kräften und Verformungen denkende Konstrukteur muss sehen, wie sich insbesondere die Blechteile infolge der Biegebeanspruchung durch die Kräfte F strecken. Besonders negativ ist die Kraftumlenkung der Variante 2.4 zu bewerten. Variante 3.1 stellt dagegen eine fertigungstechnische Abnormität dar. Soll das Brennschneiden eingesetzt werden, um das Bauteil aus Dickblech herauszuarbeiten, wird man das gesamte Stück ausbrennen und nicht in einem zweiten Arbeitsgang ein Blechstück anschweißen. Die geschraubten Lösungen 4.1 und 4.2 verstoßen gründlich gegen die fertigungstechnische Grundregel – Einstückvarianten bevorzugen. Sie können eigentlich nur als Bastlerlösungen betrachtet werden. Recht ansprechend für eine Einzelfertigung ist Variante 3.3, wenn Brennschneiden größerer Dicken nicht verfügbar ist.

Für die annähernd gleiche Aufgabe schlägt [87] fertigungsgerechtere Lösungsvarianten vor – Bild 1.15

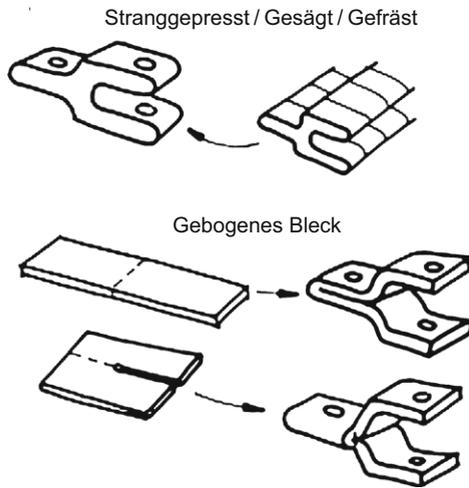


Bild 1.15 Gabelförmiges Verbindungsglied in kraft- und fertigungsgerechter Ausführung [87]

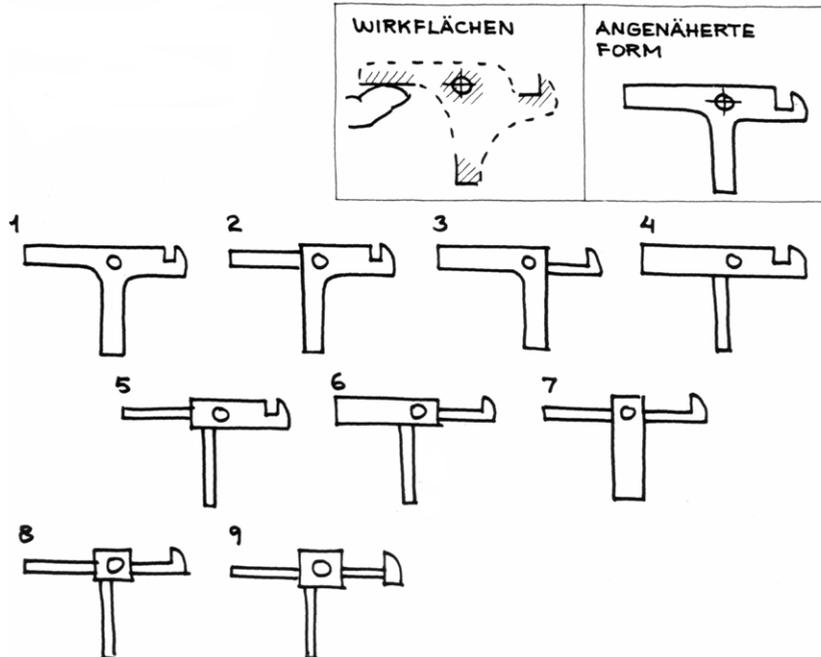


Bild 1.16 Gestaltvarianten für eine Klinke [87]

Weniger überzeugend sind die Varianten einer Klinke – Bild 1.16. Zunächst werden die Wirkflächen in einer Skizze herausgearbeitet. Das ist für eine eventuelle Variation der Wirkflächen zweckmäßig – siehe Abschnitt 2.2. Aus der angedeuteten Betätigung mittels Zeigefinger ist zu erkennen, dass offensichtlich nur geringe Kräfte wirken und damit Überlegungen zu einer kraftgerechten Gestalt nur bei Verwendung von Kunststoff notwendig sind. Die in erster Annäherung gefundene Gestalt wird nunmehr variiert, dabei kann nur bei wenigen Varianten eine fertigungstechnische Zweckform erkannt werden:

	Herstellung durch:
Variante 1	Brennschneiden, Lasern, Stanzen
Variante 3	Winkelprofil vermutlich mit geschweißter Ergänzung
Variante 4	Flachstahl mit Gestaltergänzung durch kleineren Flachstahl

Alle übrigen Varianten lassen keinen deutlichen fertigungstechnischen Sinn erkennen.

Zu den Klassikern der Konstruktionssystematik zählt Hansen [27]. Zu seinen in der Konstruktionsliteratur immer wieder aufgeführten Beispielen gehört ein Flachriemenvorgelege. Hansen geht von einer gegebenen Ausführung aus und abstrahiert zunächst die Aufgabenstellung – Bild 1.17.

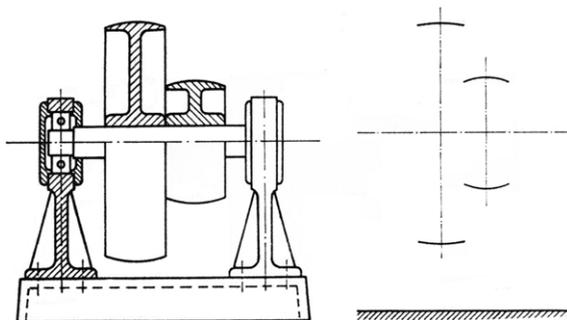


Bild 1.17 Flachriemenvorgelege [27]: links gegebene Konstruktion, rechts abstrahierte Aufgabe (Grundprinzip)

Obgleich Flachriementriebe wohl kaum noch den modernen Antriebselementen zuzurechnen sind, geht [32] in der Ausgabe 2002 recht umfassend auf diese Aufgabe ein. Da der Lösungsvorschlag immer noch recht unkonventionell ist, sei diese Aufgabe hier ebenfalls vorgestellt. Über das Variieren der Lage der Wälzlager, der Verbindung der Riemenscheiben miteinander und mit Welle oder Achse entwickelt [32] 18 Prinziplösungen; 15 dieser Lösungen sind im folgenden Bild dargestellt.

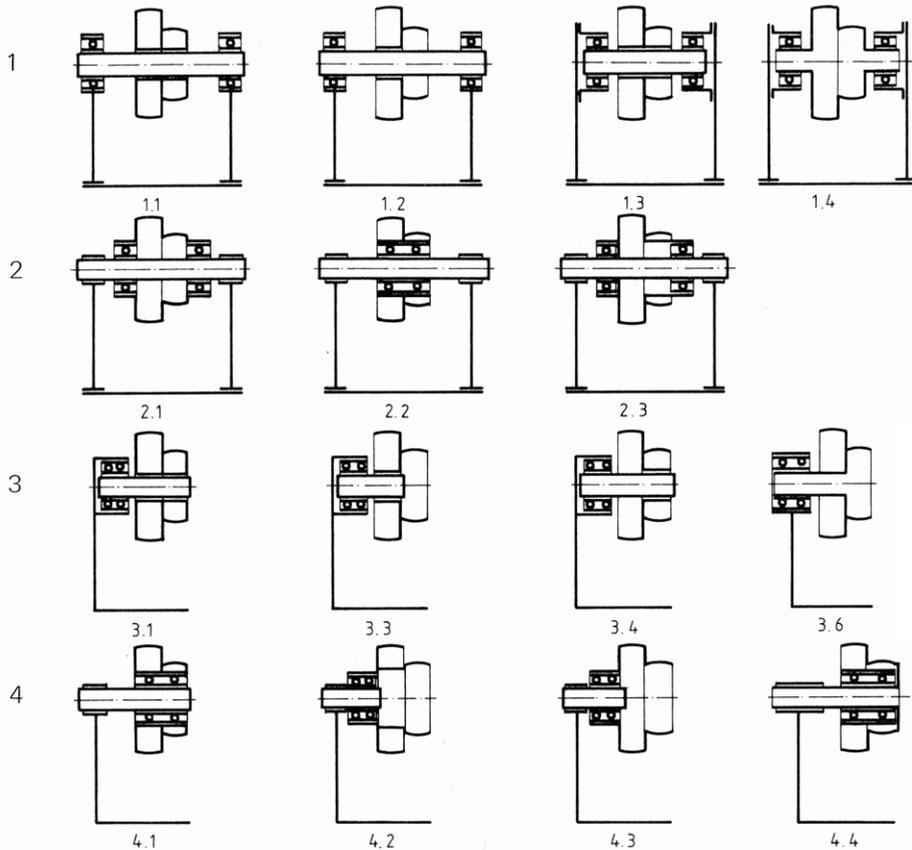


Bild 1.18 Lösungsprinzipien für Flachriemenvorgelege [nach 32]

Der Riemenwechsel bei den Varianten der Reihen 1 und 2 ist wegen der notwendigen Lagerdemontage sehr aufwendig, daher sollte man die Lösungen der Reihe 3 und 4 bevorzugen. Da der Ausgangspunkt die beidseitige Lagerung nach Bild 1.17 war, ist die Entwicklung der Varianten in Reihe 1 und 2 zwar verständlich, jede weitere Bearbeitung sollte aber spätestens mit dem Erkennen des Vorteils Riemenmontage bzw. -demontage bei fliegender Lagerung (Reihe 3 und 4) eingestellt werden.

Nach einer Vorauswahl von fünf Varianten – hier nicht näher dargestellt – werden diese einer Punktbewertung unterzogen, um die optimale Variante herauszufiltern – siehe Tafel 1.3. Jeder Eigenschaft werden 0 bis 4 Punkte zugeordnet (0 = unbrauchbar, 4 = sehr gut/ideal). Die bereits erwähnte Auswechselbarkeit der Riemen erscheint richtig bewertet. Bei der Bewertung der Herstelleigenschaften scheinen jedoch hellseherische Fähigkeiten im Spiel gewesen zu sein. Ist die Gießbarkeit einer Prinziplösung einigermaßen sicher bewertbar? Die Bewertung der

Einfachheit der Montage, hier offensichtlich aus der Anzahl der Bauteile abgeleitet, kann der Realität im Wesentlichen entsprechen. Es können jedoch durchaus erst später erkennbare Montageprobleme auftreten, wie im weiteren Text dargelegt wird.

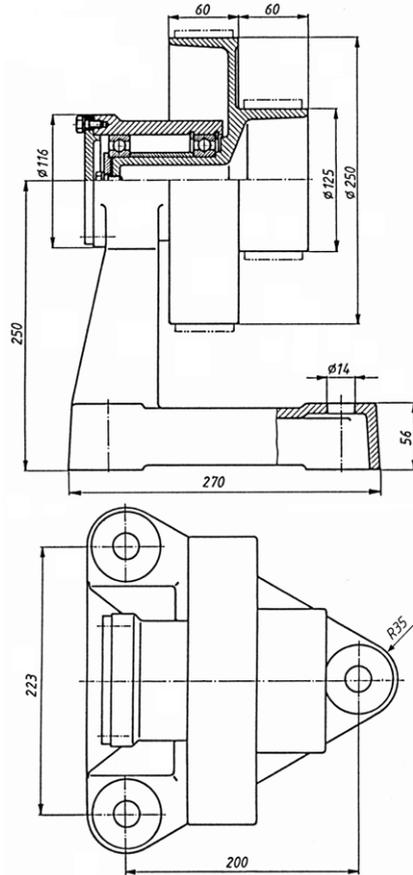
Lfd. Nr.	Technische Eigenschaften, Wünsche	Bewertungspunkte für Konzeptvariante					Ideallösung
		1.3	1.4	2.1	3.6	4.3	
	<i>Mechanische Eigenschaften</i>						
1	Lagerbeanspruchung	4	4	4	2	3	4
2	Gewicht	3	3	2	4	4	4
3	Steifigkeit	3	3	3	2	2	4
	<i>Herstelleigenschaften</i>						
4	Gießbarkeit	1	1	2	3	2	4
5	Spanabhebende Bearbeitbarkeit	2	2	1	3	3	4
6	Einfachheit der Montage	2	2	2	4	3	4
	<i>Gebrauchseigenschaften</i>						
7	Auswechselbarkeit der Riemen	1	1	1	4	4	4
	Gesamtpunktzahl: Σp	16	16	15	22	21	28
	Techn. Wertigkeit: $x = \Sigma p / (n \cdot p_{max})$	0,57	0,57	0,54	0,79	0,75	1,0

Tafel 1.3 Technische Bewertung von Konzeptvarianten eines Flachriemenvorgeleges [nach 32], diese Bewertung ist zum Teil unrealistisch – siehe Text.

Das Arbeiten mit Punktbewertungen von Lösungsvarianten nach dieser Tafel sollte in jedem Fall kritisch betrachtet werden. Die Zahlenwerte können eine Objektivität vortäuschen, die unreal ist, denn Grundlage sind die subjektiv vergebenen Werte 1 bis 4. Auch im Team erarbeitete Bewertungen verbessern diesen Sachverhalt nur wenig, wie praktisches Arbeiten der Verfasser mit dieser Methode ergeben hat. Erst nach Vorliegen einer Entwurfszeichnung wird die Bewertbarkeit realistischer.

Die entsprechend Lösungsprinzip 3.6 erarbeitete Entwurfszeichnung ist in Bild 1.19 dargestellt. Für den Konstrukteur, dessen gestaltendes Denken von der üblichen Maschinenelementliteratur geprägt ist, liegt diese Lösung vermutlich immer außerhalb des ersten Gestaltansatzes, denn gesucht wird in der Regel nach Welle-Nabe-Verbindungen für die beiden Riemenscheiben mit Achse oder Welle.

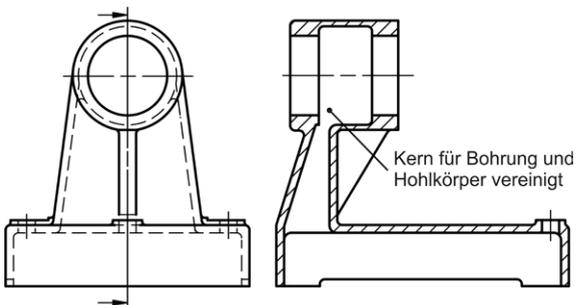
In Tafel 1.3 ist erkennbar, dass die Gießbarkeit mit Punktwert 3 als recht gut eingeschätzt wurde. Daher sei der Grundkörper – eigentlich eine Grundplatte mit aufgesetztem Lagerbock – näher betrachtet. Die Gestalt verlangt eine Formteilung/Modellteilung in der Blattebene. Es sind zwei Kerne erforderlich, ein Kern für die Hauptbohrung und ein Kern für die Grundplatte mit hohlem Stützarm. Für derartige Fälle wird sowohl von [32] als auch in der entsprechenden Literatur ein vereinigter Kern gefordert, da er in der Gießform sicherer gelagert werden kann. Das dementsprechend überarbeitete Gussstück ist in Bild 1.20 dargestellt.

**Bild 1.19**

Flachriemenvorgelege (Maßstäblicher Entwurf, ausgelegt für eine Fertigungsmenge von 100 Stück/Monat) [32]. Unkonventionell an dieser Konstruktion ist die Integralbauweise von Hohlwelle und zwei Riemscheiben, wodurch eine Welle-Nabe-Verbindung entfallen konnte. Nicht sehr gut gelöst erscheint jedoch die Montierbarkeit der Wälzlagerung

**Aufgabe 1.4**

Legen Sie die Montagereihenfolge fest und schlagen Sie, falls zweckmäßig, eine montagegünstigere Lagerung vor!

**Bild 1.20**

Lagerbock für Flachriemenvorgelege

Zusammenfassung

Zu den vorstehenden Beispielen sind zum Teil bereits einige Aussagen zur Varianteneinschränkung enthalten. Im Folgenden sei eine Zusammenfassung und Ergänzung vorgestellt:

Erstens sollte immer eine gezielte Variantenentwicklung betrieben werden. Dazu ist es notwendig, neben den funktionellen Anforderungen folgende Angaben zusammenzutragen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- angestrebte Fertigungsmenge (Einzelfertigung, Kleinstserie, Serie, Großserie),
- Baugröße,
- Aussage zur Masse (Leichtbau – minimale Masse ohne Kostensteigerung, extremer Leichtbau – Kostensteigerung wird in Kauf genommen, Schwerbau – hohe Masse wird benötigt, z. B. bei Heckpartie am Gabelstapler),
- Vorgaben zum Werkstoff oder zum Fertigungsverfahren,
- Beanspruchung durch Kräfte,
- Aussagen zur Umgebung bzw. zum Maschinendesign (Soll sich das zu entwerfende Objekt in eine bestehende Maschine/Anlage/Umgebung einordnen? – siehe hierzu Abschnitt 5).

Zweitens ist für viele Fälle eine duale Bewertung zur Varianteneinschränkung möglich. Duale Bewertung heißt z. B. Einteilung nach:

- gut brauchbar – nicht brauchbar, untragbar,
- vorteilhaft – ungünstig (in beiden Fällen Gründe benennen),
- wenig Einzelteile – zu viele Einzelteile (aufwendige Montage).

Mittels der dualen Bewertung ist die zu beurteilende Menge mit relativ geringem Aufwand einzuschränken. Erst danach sollte mit Punktbewertungen oder dergleichen gearbeitet werden. Dabei ist aber immer zu beachten, dass subjektive Einflüsse durch Gutachter nie vollständig auszuschalten sind.

■ 1.4 Erfinden oder konstruieren?

Der Titel soll provozieren, denn die Antwort soll lauten: Wirkliches Konstruieren führt zu Erfindungen. Das ist allerdings auch immer von der Art der Aufgabenstellung abhängig. So wird es bei einer Varianten- oder Anpassungskonstruktion (z. B. Anpassung an eine vom Kunden gewünschte Baugröße) kaum möglich sein, zu einer völlig neuen, patentwürdigen Teillösung vorzudringen. Das trifft besonders auch dadurch zu, dass für derartige Aufgaben zum Teil sehr enge Termine gesetzt

sind und im „Schnellverfahren“ die maßliche Anpassung ausgeführt werden muss. Wenn eingangs vom „wirklichen Konstruieren“ die Rede ist, so soll dieser Begriff etwas präzisiert werden. Gemeint ist damit, dass jeder Neukonstruktion und jeder größeren Konstruktionsüberarbeitung eine gründliche Analyse vorausgehen sollte. Das betrifft die in Abschnitt 1.1 beschriebenen Betrachtungen von gegebenen/aufgefundenen Konstruktionen und selbstverständlich auch einer genauen Kenntnis bzw. gezielten Untersuchungen der eigenen Erzeugnisse. Zwei Beispiele sollen das belegen:

- Reitstock einer Feinstdrehmaschine:

So führte eine Feinmessung an einem Drehmaschinenreitstock zu der Erkenntnis, dass die Feststelleinrichtung der Reitstockpinole zu einer horizontalen Verlagerung der Pinole führt. Bei der Konstruktion einer Feinstdrehmaschine wurde aufgrund dieser Einsicht und weiterführender Überlegungen eine völlig unüblich kantige Pinole verwendet. Durch eine von oben wirkende Klemmeinrichtung wurde die erkannte Verlagerung beseitigt – Bild 1.21.

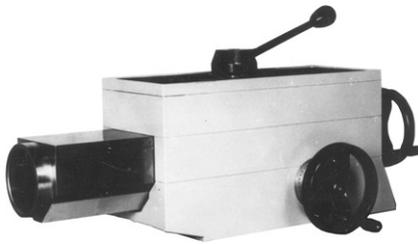


Bild 1.21
Reitstock mit kantiger Pinole

- Montagepresse:

Für die Montageautomatisierung von Achse-Nabe-Baugruppen eines größeren Landmaschinenbetriebes war eine Montagepresse mit Werkzeugwechseleinrichtung zu konstruieren. Wegen der freien Zugänglichkeit für eine Roboterbeschickung- und Entnahme wurde ein C-Gestell favorisiert. Der revolverähnliche Werkzeuggestell hätte jedoch das C-Gestell im Bereich der hohen Beanspruchung „aufgeschnitten“. An dieser Stelle des Konstruktionsprozesses war es nötig, sich von der Vorstellung des klassischen C-Gestells zu trennen. Im Ergebnis entstand eine C-Gestellvariante in offener Bauweise mit einer Verbindung von Grundkörper und Pressenkopf durch Zuganker und Druckstäbe, wobei der Zuganker gleichzeitig die Lagerstelle für den Werkzeuggestell darstellt (siehe Bild 1.22).

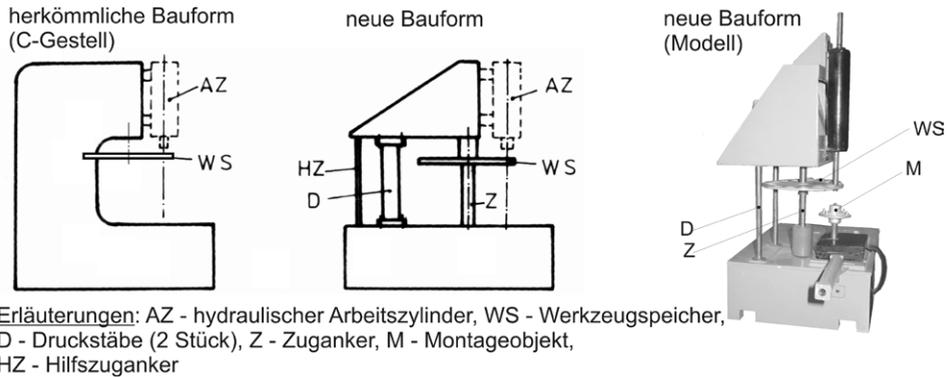


Bild 1.22 Entwicklung eines neuartigen Pressenkonzeptes für eine Montagepresse



Aufgabe 1.5

Stellen Sie weitere vorteilhafte Eigenschaften dieser unüblichen Pressenvariante zusammen!

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Konstrukteur nie ohne Kenntnis vorangegangener Maschinen auskommt. Für die jeweilige Konstruktionsaufgabe sind aber immer die Vor- und Nachteile zu analysieren und anschließend ist ein Weg zu suchen, die erkannten Nachteile zu beseitigen, um eine neuartige – eventuell patentwürdige – Lösung zu erreichen. Das Kopieren – immer wieder anzutreffen – ist nicht die Arbeitsweise eines professionell arbeitenden Konstrukteurs.

Warnung!

Wenn der Leser bei den abgebildeten Beispielen mitunter mit Lösungen konfrontiert wird, die bereits durch Neuere abgelöst sind – siehe z.B. Bestandteil von Trommelbremsen in Abschnitt 2.3 – darf daraus nicht auf eine Befürwortung älterer Konstruktionen durch die Verfasser geschlossen werden. Es sollen konstruktive Tendenzen gezeigt werden, die der Leser für seine heutigen Aufgaben kennen sollte, um sie schöpferisch umzusetzen. Wer ein Buch erwartet, das fertig gestaltete Lösungen für heute und morgen enthält, ist mit diesem Buch schlecht bedient und außerdem im Konstruktionsbüro fehl am Platze. Das Buch will Anregungen geben, die **selbständig weiterverarbeitet** und vor allem **weitergedacht** werden sollen.