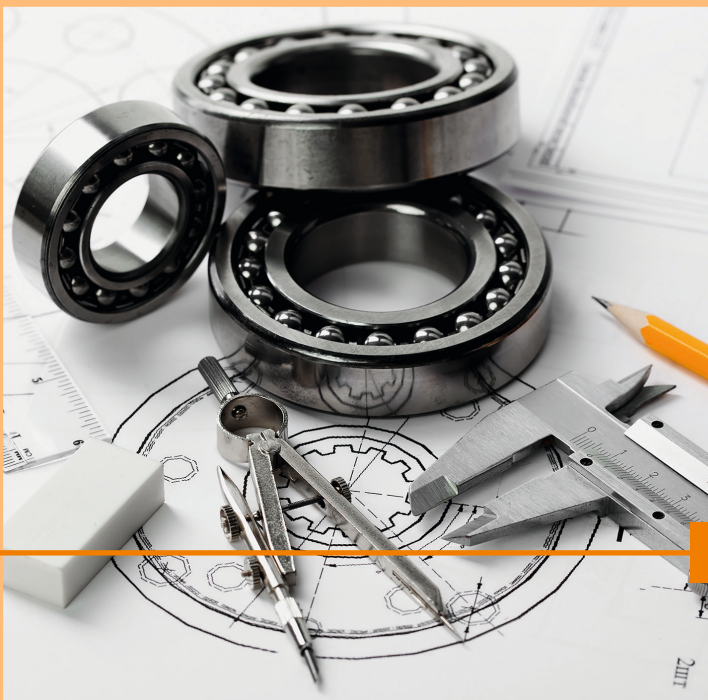


Gerhard Hoenow
Thomas Meißner

Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau

Bauteile – Baugruppen – Maschinen



5., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER



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

Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau

Bauteile – Baugruppen – Maschinen

5., aktualisierte und erweiterte Auflage

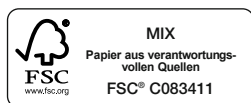
HANSER

Die Autoren:

Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Hoenow, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Thomas Meisner, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stephan HERNSCHIER (M. Eng.), Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, verantwortlich für Kapitel 4.4 „Gestalten von Bauteilen für additive Fertigung“



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 in- folgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung über- nehmen, 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 be- schriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne beson- dere 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, sind 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.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Frauke Schafft

Covergestaltung: Max Kostopoulos

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

Titelbild: © stock.adobe.com/vizafoto

Satz: Eberl & Koesel Studio, Altusried-Krugzell

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-47417-8

E-Book-ISBN 978-3-446-47432-1

Vorwort

Dieses Buch entstand aus dem wesentlichen Inhalt der langjährigen Lehrveranstaltung **Gestaltungslehre** für Maschinenbaustudenten der TU Dresden. An der seit 1991 bestehenden Fachhochschule Lausitz in Senftenberg – Land Brandenburg – wurde diese Gestaltungslehre mit der Berufung von Herrn Prof. Dr. *Meißner* seit 1994 in wesentlichen Teilen auch zum Inhalt der Lehre für die Grundlagen der Konstruktion. Hauptanliegen des Buches ist es, insbesondere den künftigen Konstrukteuren des Maschinenbaus und natürlich auch allen anderen Studierenden auf dem Gebiet des Maschinenbaus eine praxisgerechte Gestaltungslehre zu vermitteln und damit eine Lücke zu schließen. Diese Lücke besteht darin, dass der hier behandelte Inhalt in der Maschinenelementeliteratur meist nur fragmentarisch enthalten ist, andererseits in der fertigungstechnischen Literatur vorrangig aus der Blickrichtung des Fertigungstechnikers dargestellt und damit den Bedürfnissen der Konstrukteure weniger angemessen ist. Die beiden Schwerpunkte des Buches stellen erstens das Gestalten unter Berücksichtigung der auf die Maschinenteile wirkenden Kräfte dar (Abschnitt 3) und zweitens das fertigungsgerechte Gestalten von der Teilefertigung (Abschnitt 4) bis zum Fügen und zur Baugruppenmontage (Abschnitt 5). Da es nicht möglich ist, in einem gut handhabbaren Buch die gesamte Palette der fertigungstechnischen Anforderungen zu behandeln, wurde der Bereich der kleineren Fertigungsmengen (Einzel- und Kleinserienfertigung) als Grundlage bevorzugt. Hier sind die Möglichkeiten der additiven Fertigung am Wachsen, das wird in Ergänzungen dargestellt.

Dem Leser wird empfohlen, sich mit dem ersten Durcharbeiten einen Überblick zu verschaffen, um das Buch dann beim Bearbeiten von konstruktiven Übungsaufgaben ständig heranzuziehen. Für den Konstrukteur im Bereich der oben genannten Fertigungsmengen wird es auch ein guter Begleiter in der betrieblichen Konstruktionspraxis sein. Insbesondere wird der Wert des Buches darin gesehen, bei der Herausbildung des beruflichen Erfahrungsschatzes des Konstruktionseinsteigers eine systematische Hilfe zu leisten und das nicht allein den einsatzbedingten Zufällen zu überlassen. Die Verfasser möchten mit dem vorgelegten Buch zum Erfahrungsaustausch anregen und versichern hiermit, dass Hinweise und Vorschläge aufgeschlossen entgegengenommen werden.

Das Buch wäre nicht entstanden ohne die intensiven Hinweise des Herrn Dr.-Ing. *Bernd Platz* – über viele Jahre Oberassistent des Verfassers Hoenow – und seine Bemerkungen über die weiter oben erwähnte Lücke in der Literatur für den Maschinenbaukonstrukteur. Dafür gebührt unserem Freund *Bernd Platz* besonderer Dank. Weiterhin haben mitgewirkt: Frau Dipl.-Ing. *Ina Meißner* beim Umsetzen umfangreicher handschriftlicher Aufzeichnungen, Frau *Mandy Ehrlich* beim Aufbereiten vieler Bilder, Herr *Christian Schreiber*

beim Erstellen zeichnerischer Darstellungen und das STUDIO WIR DRESDEN unter besonderer Mitwirkung des Herrn Diplomfotografiker *Andreas Meschke* bei der Anfertigung fotografischer Abbildungen. Allen genannten Mitarbeitern sei hiermit herzlich gedankt. Nicht unerwähnt bleiben darf die freundschaftliche Unterstützung des Herrn Dr.-Ing. *Harry Thonig* der Firma Trumpf Sachsen GmbH. Ebenfalls sei Frau *Ute Eckardt* und *Katrin Wulst* vom Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Gerhard Hoenow

Thomas Meißner

Inhalt

Vorwort	5
1 Einführung	11
1.1 Was ist Gestalten, was ist Entwerfen?	11
1.2 Welche Voraussetzungen sollte der Leser mitbringen und was wird nicht behandelt?	13
1.3 Gestaltungseinflüsse und Gestaltungsschwerpunkte	15
1.4 Wo findet man Anregungen für gute Konstruktionen?	16
1.5 Analyse einfacher Konstruktionen	19
1.6 Konstruktionsanalyse – Lösungen	24
2 Nicht gestalten, sondern kaufen	30
3 Kraftgerechtes Gestalten – ein zentrales Anliegen	32
3.1 Die Grundregeln des kraftgerechten Gestaltens steifer Maschinenteile ...	34
3.2 Kraftgerechte Gussstückgestaltung	45
3.2.1 Lagerbockgestaltung, Einführung	46
3.2.2 Geteilte Getriebegehäuse und das Flanschproblem	55
3.2.3 Gestaltungsbeispiele weiterer kraftbeanspruchter Gussstücke	59
3.2.4 Gestaltungsregeln für kraftgerechte Gussstückgestaltung	60
3.3 Kraftgerechte Schweißkonstruktionen	61
3.4 Kraftgerechte Blechteilgestaltung	64
3.5 Flächenpressung, Punkt- und Linienberührung	71
3.6 Zur Gestaltung elastischer Bauteile	74
3.7 Beispiele und Aufgaben	76
3.8 Kraftgerechtes Gestalten – Lösungen	83

4	Fertigungsgerechtes Gestalten der Einzelteile	87
4.1	Einführung	87
4.1.1	Fertigungsgerechte Gestalt, Fertigungsmenge und Baugröße	89
4.1.2	Fertigungsgerechtes Gestalten und Kostendenken	90
4.1.3	Wahl des Werkstoffs, des Grundfertigungsverfahrens und des Halbzeugs	93
4.1.4	Die klassischen und die neuen Konstruktionswerkstoffe	94
4.1.5	Genauigkeiten der Fertigung im Maschinenbau	99
4.2	Fertigungsgerechtes Gestalten für die Einzelfertigung	101
4.3	Gestalten von Gussstücken (urformgerechtes Gestalten)	107
4.3.1	Die Berücksichtigung der Formherstellung bei der Gussstückgestaltung	112
4.3.2	Sicherung der Gussstückqualität durch den Konstrukteur	124
4.3.3	Berücksichtigung des Putzens und Entgratens	128
4.3.4	Gussstückfeingestaltung – Berücksichtigung der Rohgusstoleranzen	129
4.3.5	Zur fertigungsgerechten Durchbildung eines Gussstückes	133
4.4	Gestalten von Bauteilen für additive Fertigung	134
4.5	Gestalten von Strangteilen	137
4.6	Gestaltung geschweißter Maschinenteile	142
4.6.1	Einführung	142
4.6.2	Die Nahtarten und ihre wesentlichen Eigenschaften	148
4.6.3	Zum Gestalten der Schweißteile	155
4.6.4	Gestaltung bei dynamischer und statischer Beanspruchung	160
4.6.5	Beispiele, Aufgaben und Lösungen	163
4.7	Blechteilgestaltung	166
4.7.1	Ziele, Grenzen und Anwendung der Blechteilgestaltung	166
4.7.2	Gestalten von Blechflachteilen	172
4.7.3	Gestalten von Blechbiege- und Blechfaltteilen	177
4.7.4	Blechhohlkörper und Blechformteile	181
4.7.5	Gestalten von Blechverbindungen	182
4.8	Schmiedestücke	186
4.9	Gestalten für die spanende Bearbeitung	186
4.9.1	Allgemeines	186
4.9.2	Zum Spannen auf Werkzeugmaschinen	192
4.9.3	Gestalten für Bohren, Senken, Reiben, Gewinden	194
4.9.4	Gestalten für Drehbearbeitung	195
4.9.5	Gestalten von Bauteilen mit ebenen Arbeitsflächen	199

4.9.6	Gestalten für die Bearbeitung auf Bohr- und Fräszentren	202
4.9.7	Gestaltung von Profilbohrungen	204
4.10	Feingestaltung – die Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen	205
4.10.1	Überbestimmungen	206
4.10.2	Tolerieren mit Abmaßen und mit ISO-Toleranzen	207
4.10.3	Kompensieren von Summentoleranzen	216
4.10.4	Oberflächenangaben	221
4.10.5	Form- und Lagetoleranzen	222
4.11	Fertigungsgerechtes Gestalten – Lösungen	230
5	Fügen und Montieren	235
5.1	Welle-Nabe-Verbindungen und Axialsicherungen	235
5.2	Die montagegerechte Baugruppe	250
5.3	Justieren	255
5.4	Fügen und Montieren – Lösungen	260
6	Zur Darstellung	261
7	Zusammenfassende Bemerkungen und Ausblick	265
	Literatur- und Bildquellen/Weiterführende Literatur	270
	Sachwortverzeichnis	272

Das vorliegende Buch richtet sich an die Studierenden im Maschinenbau allgemein und an die Studierenden konstruktiver Fachrichtungen ganz speziell. Es will ein **unverzichtbares Teilgebiet** des Grundwissens der allgemeinen Maschinenbaukonstruktion vermitteln, das in der Maschinenelementeliteratur häufig auf wenigen Seiten abgehandelt wird. Der Buchinhalt ist ausgerichtet auf das Konstruieren für kleine Fertigungsmengen (Einzel- und Kleinserienfertigung), bei dem man meist mit den grundlegenden Möglichkeiten aus dem umfassenden Gebiet der Fertigungstechnik auskommen muss. Es darf als Grundkurs für die allgemeine Maschinenbaukonstruktion angesehen werden. Dem künftigen Sondermaschinenkonstrukteur wird hiermit auch ein Buch in die Hand gegeben, welches ihn in der Betriebspraxis begleiten kann, denn die Konstruktionsaufgaben der Studienzeit sind wohl an allen Bildungseinrichtungen nicht ausreichend, um einen **gefestigten Erfahrungsschatz** herauszubilden. So wird man kaum selbst die für die kleinen Fertigungsmengen noch recht große Breite der Gestaltung von Gussstücken, Schweißkonstruktionen, Blechteilen und dem Spanen aus dem Vollen gefestigt und abrufbereit im Kopf haben.

Dafür wird dieses Buch über eine gewisse Anlaufzeit Hilfe und Rat geben können. Dem späteren Konstrukteur für Großserienerzeugnisse (Automobilbau, Küchen- und Haushaltsgeräte, elektrische Handwerkzeuge und dergl.), dem die volle Palette der Fertigungstechnik zur Verfügung steht, wird der Umstieg ohne nennenswerte Schwierigkeiten möglich sein, wenn er mit dem hier Dargelegten gut umgehen kann.

■ 1.1 Was ist Gestalten, was ist Entwerfen?

Konstruieren im Maschinenbau ist ein äußerst komplexer Vorgang. Intensive Bemühungen um die Aufklärung dieses Vorganges führten zur Empfehlung einer **systematischen Vorgehensweise**, die in der entsprechenden Literatur sowie in der Lehre an vielen Technischen Bildungseinrichtungen Eingang gefunden hat. Dieses systematische Vorgehen bildet für den Einsteiger und durchaus auch für den Praktiker einen brauchbaren Leitfaden, an dem sich von der **Aufgabenstellung** bis zur Lösung „entlanghangeln“ lässt. Sehr viel Wert wird dabei nach dem **Präzisieren der Aufgabe** auf die **Ausarbeitung von Lösungsprinzipien** und die Auswahl eines optimalen Lösungsansatzes – denn mehr ist ein Lösungsprinzip nicht – gelegt.

Ein derartiges Lösungsprinzip bringt jedoch keine Maschine zum Arbeiten.

Hierzu ist gestalteter Werkstoff nötig, d. h. für jedes Bauelement oder Bauteil sind in folgenden Schritten **Grundwerkstoff** und **Grundfertigungsverfahren** festzulegen. Beides ist untrennbar verknüpft und Voraussetzung für das eigentliche Gestalten der Maschinenteile. Das geschieht in der Regel nicht für ein Maschinenteil allein, sondern eingebunden in ein komplexes Gebilde, eine Funktionsgruppe bzw. eine Baugruppe einer Maschine. Diese Phase des Konstruktionsprozesses ist bisher am wenigsten geklärt. Der erfahrene Konstrukteur arbeitet auf Grundlage eines breiten Erfahrungsschatzes intuitiv, eventuell gemischt mit systematischen Arbeitsschritten. Er ist in der Lage, gleichzeitig alle wesentlichen Anforderungen zu berücksichtigen, in schneller Folge durchzuchecken und sich damit dem Optimum schnell zu nähern. Eine iterative Arbeitsweise ist nicht bzw. kaum erkennbar, es läuft eine Polyoptimierung im Kopf ab. Der Einsteiger ohne Erfahrung ist überfordert und flüchtet sich gern in Berechnungen. Jede Berechnung oder Dimensionierungsmethode setzt jedoch mindestens einen Gestaltansatz und eine Werkstoffannahme voraus. Auf welchem Weg kann sich aber nun der Einsteiger einen Erfahrungsschatz in möglichst kurzer Zeit erarbeiten? Einen brauchbaren Weg glauben die Verfasser in der gründlichen Analyse bestehender Konstruktionen anbieten zu können, die ständig mit der Frage nach dem **Warum** verknüpft sein muss.

Warum sind die Einzelteile so gestaltet? Warum befindet sich hier ein Radius und dort eine scharfe Kante? Warum ist die Fase nicht mit 45° sondern mit 15° abgeschrägt?

Dabei muss mit einfachen Objekten begonnen und schrittweise zu schwierigen hingearbeitet werden. In gleicher Weise sollten sich die Gestaltungsaufgaben vom überschaubaren Maschinenteil zur komplexen Baugruppe steigern, wobei zunächst Werkstoff und Hauptfertigungsverfahren vorgegeben sein sollten:

Konstruiere einen Gusshebel für ...Konstruiere eine Abstützung aus Stahlblech für... usw.

Die späteren Aufgaben sollten diese Einschränkung vermeiden, aber immer eine Aussage zur Fertigungsmenge enthalten, denn die zu fertigende Stückzahl (z.B. einmalig 1 Stück oder 10 Stück, halbjährlich 50 Stück) muss den entscheidenden Beitrag zur Wahl des Werkstoffs und der Fertigungsverfahren leisten.

Im Mittelpunkt des Entwerfens und Gestaltens steht: **Funktionsgerecht Gestalten**, aber **unter ständiger Berücksichtigung der Herstellbarkeit** (fertigungsgerechtes Gestalten). Diese beiden Anforderungen bestehen immer, wogegen viele weitere Einflüsse (z.B. ergonomisches Gestalten von Bedienelementen, Berücksichtigung von Korrosion, Design, Recycling u.v.a.m.) je nach Verwendungszweck eine Rolle spielen können, aber nicht müssen und daher hier nicht behandelt werden.

Wenn im Entwicklungsablauf das Funktionsprinzip geklärt ist, beginnt eine Entwurfsphase, die mit Entwurfsberechnungen gemischt sein kann. Welche Entwurfsberechnungen notwendig sind, muss der Entwerfende für seine Aufgabe selbst entscheiden. Die Vielfalt des Aufgabenspektrums verhindert, hier zweckentsprechende Angebote vorzulegen. Das **Entwerfen** wird als Ermittlung der **ungefähren Konturen** der Einzelteile einer Baugruppe betrachtet, die durch das **Gestalten** schrittweise zur **Grobgeometrie** überführt werden. Darunter sollen die sichtbaren geometrischen Eigenschaften – die geometrische

Gestalt – verstanden werden. Die Gestaltungsarbeit endet mit dem Festlegen der **Feingeometrie**. Darunter sind zu verstehen Angaben zur:

- Maßgenauigkeit (Maße und Maßtoleranzen)
- Formgenauigkeit (z. B. Ebenheit, Zylinderform)
- Lagegenauigkeit (z. B. Parallelität, Rechtwinkligkeit)
- Oberflächenrauigkeit

Zur fertigen Einzelteilzeichnung gehören dann selbstverständlich noch exakte Werkstoffangaben und eventuell Angaben zur Wärmebehandlung. Die Arbeit ist aber erst nach Einordnung jedes Bauteils und jeder Baugruppe in ein betriebsgebundenes Zeichnungs-Nummernsystem oder ein anderes Ordnungssystem beendet. Dieser notwendige Arbeitsschritt wird hier nicht behandelt und bleibt der Betriebspraxis vorbehalten.

Es muss aber darauf verwiesen werden, dass der Weg vom ersten Entwurf zur Einzelteilzeichnung kein linearer Ablauf ist. Keine erste Entwurfszeichnung ist ohne Mängel und man muss sich schrittweise auf umständlichen iterativen Wegen dem Ziel – der angestrebten Optimallösung – nähern. Ohne den Willen zur mehrmaligen Überarbeitung ist noch keine gute Konstruktion entstanden.

■ 1.2 Welche Voraussetzungen sollte der Leser mitbringen und was wird nicht behandelt?

Ein Arbeiten in der Maschinenbaukonstruktion ist ohne Kenntnisse des **Technischen Zeichnens** nicht denkbar. Möglichst gute Grundkenntnisse dieses Fachgebietes einschließlich der Angabe von Toleranzen aller Art (Maß, Form, Lage und Oberfläche) werden vorausgesetzt. Einsteigerfehler sollten überwunden sein, wie z. B. Schraffuren bei Schnitten durch Rippen oder Wellen, Bruchlinien als Körperkanten und dergleichen.

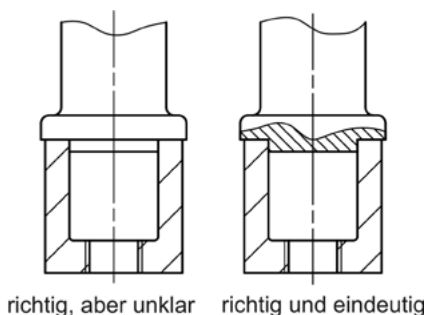


Bild 1.1 Ungünstige und eindeutige Bruchdarstellung

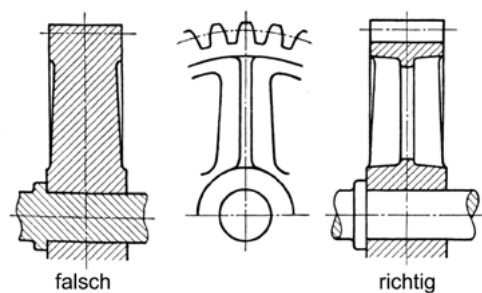


Bild 1.2 Falsche und richtige Schnittdarstellung an Zahnrad und Welle [43]

Eigene Gestaltungsarbeit wird die Kenntnisse des technischen Zeichnens ständig erweitern und vertiefen. Die konstruktionsanalytischen Aufgaben des *Abschnitts 1.5* können als Test für die Überprüfung des eigenen Kenntnisstandes im Technischen Zeichnen benutzt werden. Durch übliche zeichnerische Vereinfachungen (*Bild 1.3*) sollte man sich dabei nicht täuschen lassen. Dem Technischen Zeichnen hinzugerechnet werden auch Kenntnisse über die **Normteile** des Maschinenbaus. Das sind Schrauben und Muttern, Gewindestifte, Stifte (z. B. Zylinder-, Kegel-, Kerb-, Spannstifte usw.), Passfedern, Keile u. v. a. m.

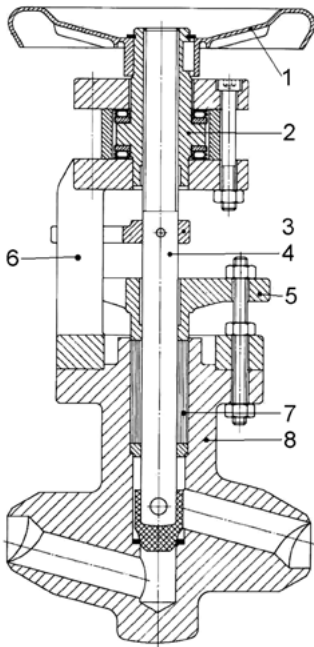


Bild 1.3 Hochdruckventil [12]

- 1 Handrad
- 2 Spindelmutter
- 3 Verdrehsicherung für Spindel
- 4 Spindel
- 5 Stopfbuchsbrille
- 6 Träger für Spindelmutter
- 7 Stopfbuchse
- 8 Gehäuse

Die gewählte Darstellung lässt die Funktionssicherheit des Ventils bezweifeln.

Aufgabe 1.1 Stelle fest, welche Art der zeichnerischen Vereinfachung hier gewählt wurde.

Ein weiteres Gebiet, über welches der Leser informiert sein möchte, sind die **Maschinenelemente**. Dieses Gebiet kann während der Beschäftigung mit ersten Entwurfs- und Gestaltungsarbeiten ständig ergänzt und erweitert werden. **Ein Standardwerk über Maschinenelemente muss ständig zur Verfügung stehen.**

Einen sehr umfangreichen Komplex stellen Kenntnisse über die maschinenbauliche **Fertigungstechnik** dar. Sie sind keinesfalls allein aus der Literatur und dem Lehrbetrieb der Hochschulen ausreichend zu erwerben. Betriebspraktika in möglichst vielen Fertigungsbereichen sind unverzichtbar. Dazu gehören neben den Hauptgebieten der Fertigung wie die spanende Fertigung (z. B. Bohren, Drehen, Fräsen) und die Montage auch Gießerei, Blechschneiden und -umformen und Schweißbetrieb. Aus der spanenden Fertigung werden die Kenntnisse über die **Werkzeuge** mit ihren Einsatzgebieten sowie über **Spannmittel** und **Vorrichtungen** benötigt.

Für die **Werkstoffe** des Maschinenbaus wird hier nur eine Übersicht über die wesentlichen Werkstoffgruppen zur Unterstützung der Auswahl eines Grundwerkstoffs vorge-

stellt. Alle weiteren Kenntnisse zur exakten Bestimmung konkreter und lieferbarer Werkstoffe für jedes Maschinenteil müssen ebenfalls vorausgesetzt bzw. erworben werden; hier sei auf den Gebrauch entsprechender Tabellenwerke oder betrieblicher Auswahllisten verwiesen.

Das gesamte Gebiet der **Berechnungsverfahren** (Berechnung der Maschinenelemente, Technische Mechanik, Dynamik, Betriebsfestigkeit usw.) wird hier weder behandelt noch die Einbindung in den Konstruktionsprozess als Entwurfs- oder Nachrechnung angegeben. Was zu welchem Zeitpunkt durch Berechnungen zu belegen ist, muss der Konstrukteur selbst entscheiden, sofern er seinem gestalterischem Gefühl oder dem seiner Vorbilder nicht vertrauen will oder bei Leistungssteigerungen einer Maschine nicht vertrauen darf.

Von Bedeutung zum Verständnis des vorliegenden Buches sind Begriffe aus der Technischen Mechanik wie die Beanspruchungen durch Zug, Druck, Biegung, Torsion usw., die dadurch hervorgerufenen Spannungen (z.B. Zugspannung usw., auch Schubspannung) sowie Kenntnisse über den Verlauf von Biegemomenten in Kragträgern und anderen Fällen der Biegebeanspruchung.

Bezüglich der Verwendung und Erläuterung von Begriffen im vorliegenden Buch war es nicht in jedem Fall möglich, beim erstmaligen Auftauchen des Begriffes diesen auch zu erläutern. Dem Leser wird empfohlen weiter zu lesen, denn eine Erläuterung folgt später, er kann aber auch mit dem Stichwortverzeichnis am Ende des Buches arbeiten.

■ 1.3 Gestaltungseinflüsse und Gestaltungsschwerpunkte

Zu den Einflüssen, die der Konstrukteur zu berücksichtigen hat, gibt es z.T. sehr umfassende Auflistungen. Sie lauten z.B.: Konstruiere funktionsgerecht, kraftflussgerecht, beanspruchungsgerecht, werkstoffgerecht, normgerecht, fertigungsgerecht, bedienungsgerecht, umweltgerecht usw. Es werden bis zu 25 „Gerechtheiten“ aufgezählt und mehr oder weniger knapp erläutert. Wie kann der Einsteiger in das Entwerfen und Konstruieren von Maschinen damit arbeiten?

Das vorliegende Buch soll dem Einstieg in den **allgemeinen Maschinenbau** dienen. Branchentypisches z.B. für Werkzeugmaschinen, Fahrzeuge, Verfahrenstechnik bleibt unberücksichtigt. Es wird versucht, fachrichtungsunabhängige Grundlagen des Entwerfens und Gestaltens zu vermitteln. Wie bereits im *Abschnitt 1.1* erwähnt, stehen

Funktion und Herstellung immer im Mittelpunkt

konstruktiv-gestalterischer Arbeiten. Die Funktionsgerechtigkeit im Maschinenbau hat mit der Beherrschung von Kräften durch die vorrangig aus Eisenwerkstoffen herzustellenden Maschinenteile zu tun und ausschließlich um solche geht es in diesem Buch. Dazu gehören Hebel, Grundplatten, Gehäuse und andere Teile mit Stütz- oder Haltefunktion. Die

elektrischen Antriebe einschließlich ihrer Steuerung, die heute fast ausschließlich auf elektronischem Wege arbeitet, bleiben unerwähnt. Durch die Beherrschung wirkender Kräfte (*Abschnitt 3*) werden die Einflüsse „kraftflussgerecht, beanspruchungsgerecht und werkstoffgerecht“ mit erfasst. Das herstell- oder fertigungsgerechte Gestalten beginnt mit der Verwendung von Normteilen und Zulieferkomponenten (*Abschnitt 2*) und endet mit dem montagegerechten Gestalten (*Abschnitt 5*).

Die Berücksichtigung des Transportes spielt vorrangig für große Objekte eine Rolle und wird an passender Stelle erwähnt.

Die vielen Teilgebiete des nutzungsgerechten Gestaltens sind sehr stark branchenbezogen und bleiben hier unberücksichtigt. Hierzu gehören z. B.:

- Aussehen/Formschönheit/Maschinendesign
- sicherheitsgerechtes Gestalten
- bediengerechtes/ergonomisches Gestalten
- wartungsarmes, instandhaltungsgerechtes und reinigungsgerechtes Gestalten
- angemessene Lebensdauer
- der Nutzung angemessen (denke von Bergbau bis Feinmechanik)
- Umweltfreundlichkeit und Recyclinggerechtigkeit

Mit den im Buch behandelten Schwerpunkten wird die Einarbeitung in jeden Maschinenbauzweig möglich sein. Kaum ein Betrieb kann erwarten, einen speziell ausgebildeten Konstrukteur seines Gebietes von einer Ausbildungseinrichtung zu erhalten, aber er kann eine Grundarbeitsweise erwarten, sodass der junge Konstrukteur nach einer Einarbeitungszeit voll im betriebstypischen Aufgabenfeld arbeiten kann.

■ 1.4 Wo findet man Anregungen für gute Konstruktionen?

Anregungen sind häufig zu finden, man muss nur hinschauen und Fragen stellen. Sie könnten lauten:

- Wie funktioniert das?
- Warum ist es so ausgeführt, wie es vorliegt?

Einige Beispiele sollen das verdeutlichen. *Bild 1.4* zeigt eine Baugruppe, die zu einem selbst zu montierenden Hängeschrank gehört. Hat man das Original vorliegen, ist die Funktion dieser recht geschickt ausgeführten Baugruppe leicht durchschaubar.



Bild 1.4 Blech-Kunststoff-Baugruppe für Hängeschrankbefestigung [45]
Die komplizierte Gestaltung der Einzelteile weist auf Großserienfertigung hin. Zum senkrechten Ausrichten des Hängeschrankes ist eine Justiermöglichkeit integriert.

Das ist nicht in jedem Fall so. Zum Beispiel sind die Scharniere für Dreh- und Kippbewegungen moderner Fenster mit Justiereinrichtungen versehen, die nach dem Einbau ein seitliches Verschieben der Fenster ermöglichen, sodass der bewegliche Fensterflügel richtig in den Rahmen hineinpasst und gut dichtet. Diese Funktion offenbart sich bei einer Betrachtung des fertigen Beschlages nicht ohne weiteres. Der Leser möge das selbst überprüfen. Am Hängeschrankbeschlag sollte der Betrachter noch den Sinn der drei aus Blech geformten Zapfen ermitteln. Sie dienen zur Befestigung am Schrank durch Einstecken in einfach herzustellende Bohrungen. Der Blechgrundkörper erfordert recht komplizierte Umformvorgänge, die in dieser Gestalt nur bei großen Stückzahlen kostengünstig herstellbar sind. *Bild 1.5* zeigt einen aus Kunststoff gefertigten Vorratsbehälter für Süßstoff in Tablettenform. Das geriffelte Teil enthält Führungsnasen, die in entsprechenden Schlitzen des Behälters gleiten und eine Axialbewegung zulassen. Am gleichen Teil befinden sich weiterhin ein trichterförmig erweiterter Führungskanal zur Vereinzelung der Tabletten und die deutlich erkennbare schräge Nase, die hier als Rückholfeder wirkt. Es darf als sicher angenommen werden, dass für diese geschickt ausgeführte Konstruktion mehrere iterative Entwurfsschritte notwendig waren.

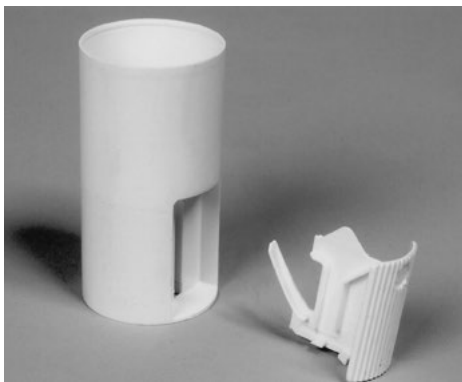


Bild 1.5 Vorratsbehälter mit Vereinzelungsvorrichtung [45]

Geradezu einfach durchschaubar ist dagegen das geschweißte Gestell der Parkbank nach *Bild 1.6*, wie die hinzugefügte Zeichnung erkennen lässt. Es lohnt sich aber trotzdem einmal richtig hinzuschauen, aus welchen Bestandteilen das Gestell zusammengeschweißt ist und welche Halbzeuge und Fertigungsverfahren hierfür erforderlich waren. Das recht ansprechende Erscheinungsbild der Bank dürfte ebenfalls nicht in einem einzigen geradlinigen Entwurfsablauf entstanden sein.

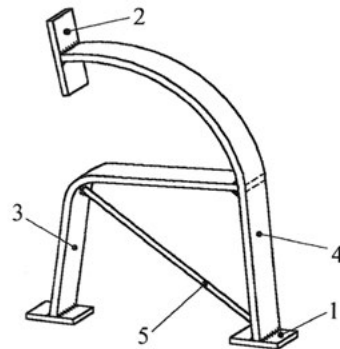


Bild 1.6 Parkbank

Schweißteile: 1 Fußplatten (Flachstahl), 2 Riegel für Rückenlehne (Flachstahl), 3 Hinterer Fuß (Flachstahl gebogen), 4 Vorderer Fuß (Flachstahl gebogen), 5 Zugstrebe (Rundstahl)

Schweißkonstruktionen können an vielen Orten unserer gebauten Umwelt betrachtet werden. Der Fuß des Fahrradmastes ist ein derartiges Beispiel (*Bild 1.7*). Der Mastkörper ist als geschweißter Hohlkörper ausgebildet. Unklar bleibt dem Betrachter der unten angebrachte Mastfuß mit Doppelflansch. Ein funktioneller Grund könnte darin bestehen, dass der untere helle Flansch in einer noch nicht aufgetragenen Deckschicht „verschwindet“ und der Mast einfach demontierbar bleiben soll. Oder hat ein Maßfehler vorgelegen, der einen Höhenausgleich erforderlich machte? Eine andere Schweißkonstruktion zeigt *Bild 1.8*. Die Stangenköpfe für die Verbindung der blechverkleideten Tragseile weisen eine interessante Gestalt auf. Die Hauptbeanspruchung läuft über schubbeanspruchte Nähte. Das Hauptteil des Kopfes besteht aus einem gebogenen Grobblech. Es muss hier aber festgestellt werden, dass sich die Gründe für die aufgefundene Gestaltung dem fremden Betrachter nicht unbedingt offenbaren.



Bild 1.7 Fahrdradmast für Straßenbahn (Mastfuß)



Bild 1.8 Seilhängebrücke (Detail)

Diese kleinen und großen Beispiele aus der alltäglichen Umgebung sollen genügen, das Interesse des Lesers zu wecken. Weitere sind fast überall zu finden, nicht alle sind durchschaubar.

Zu bedauern ist, dass praktisch keine Quelle bekannt ist, in der Konstruktionsfehler besprochen werden. Jeder erfahrene Konstrukteur weiß, wie intensiv selbst verursachte Fehler den eigenen Erfahrungsschatz bereichern und immer gegenwärtig sind. Aber wer wagt es, seine Konstruktionsfehler als Lehrstoff zu verwenden? Im vorliegenden Buch werden mehrfach ausgeführte Beispiele mit gestalterischen Mängeln vorgestellt und zweckmäßigere Lösungen benannt und begründet (siehe z.B. das Flanschproblem, geschweißte Nietkonstruktionen, eine Grundplatte, die auf den Begriff Platte verzichtet und trotzdem ihre Funktion erfüllt). Die Analyse von Konstruktionen mit echten, jedoch z.T. sehr versteckten Fehlern würde den Rahmen dieses Buches jedoch sprengen; deshalb wird hier darauf verzichtet.

■ 1.5 Analyse einfacher Konstruktionen

Die Modifizierung bestehender Maschinenbaugruppen ist bei sehr vielen Konstruktionsarbeiten vorherrschend (Anpassungskonstruktion). Daher gehört die Beurteilung von Maschinenbauzeichnungen zu den ständigen Arbeiten des Konstrukteurs. Der Einsteiger ist gut beraten, sich schrittweise in das Lesen, Erkennen und Beurteilen technischer Zeichnungen hineinzuarbeiten, den Blick für das Erkennen von Fehlern und Mängeln zu

schärfen und damit den „Respekt“ vor komplizierten Zeichnungen abzubauen. Gleichzeitig baut er sich damit im Kopf einen Vorrat an Gestaltungselementen auf, die für das Konstruieren nutzbar sein sollten. Die Analyse von Fremdkonstruktionen darf aber nicht dazu verführen, sie als alleingültiges Leitbild zu benutzen, denn oft sind weder die näheren Umstände ihres Entstehens noch die Fertigungsbedingungen des Herstellers bekannt. Jedes technische Gebilde stellt einen Kompromiss zwischen gewünschter Funktion und „bezahlbarer“ Herstellung dar. Welche Bedingungen und Zwänge der betrachteten Lösung zugrunde liegen, kann höchstens errahnt werden. Eine Analyse sollte daher eine Grundlage zum Weiterdenken sein, wobei sich der Einsteiger zunächst um kleinere Schritte bemühen sollte.

Die langjährigen Erfahrungen der Verfasser mit einer eigenständigen Lehrveranstaltung unter dem Titel **Konstruktionskritische Analyse** sind recht positiv. Bemerkenswert sind dabei Diskussionsrunden mit den Studierenden an mangelbehafteten Objekten, denn das Ringen um bessere Lösungen hat echte Gestaltungsprozesse in Gang gesetzt.

Ein besonderes Kapitel sind Einsteigerkonstruktionen, wenn kein „Rückenwind“ – keine Beispiellösung – verfügbar ist. Selbstverständlich muss eingeräumt werden, dass es sehr schwierig ist, einen ersten Entwurf zu Papier zu bringen. Nicht umsonst spricht Jung [20] den Studierenden **Mut zur ersten Skizze** zu; dem schließen sich die Verfasser im vollen Umfang an. Die ersten Schritte, eine eigene Konstruktionsidee zu Papier zu bringen, sind schwierig, aber sie müssen ausgeführt werden, denn sie sind Grundlage für weitere Überlegungen und schrittweise Verbesserungen. Es gibt keine einigermaßen optimale Konstruktion, die nach dem ersten Aufzeichnen fertig war. Jede erste Skizze/Zeichnung ist immer nur Grundlage für ein schrittweises Weiterdenken und Weiterentwickeln. Mit den zwei folgenden Bildern werden Detailobjekte von Einsteigerkonstruktionen zur Diskussion gestellt. Bei der Zwischenräderlagerung (*Bild 1.9*) fallen dem geübten Betrachter auf den ersten Blick der große Abstand der Zahnräder von der Lagerung und der geringe Lagerabstand ins Auge. Das führt zur größeren Verformung der Achse und zu großen Lagerkräften.

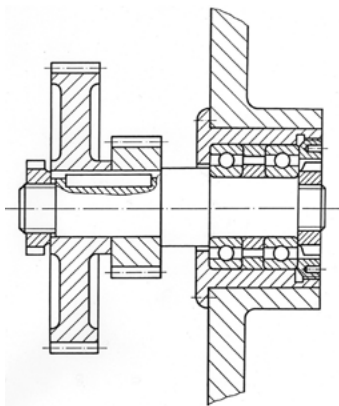


Bild 1.9 Zwischenräderlagerung
(Abbildung enthält konstruktive Mängel)
Geforderte Funktion: Die Zahnräder sind
Umsteckräder (verschiedene Größen),
die einfach wechselbar sein sollten.

Aufgabe 1.2 Finden Sie weitere Mängel dieser Konstruktion.

Eine begründete Beurteilung setzt jedoch Angaben zu den herrschenden Kräften bzw. Momenten voraus. Ein weiterer Mangel sollte durch die Bezeichnung **Umsteckräder** deutlich werden. Es fehlt eine Möglichkeit zum Festhalten der Achse für das Lösen und Festziehen der Nutmutter. Ein dritter Mangel ist ebenfalls deutlich erkennbar: Für die Befestigung der Lagerbuchse am Gehäuse sind lediglich die Mittellinien dargestellt, für Schrauben in zweckmäßiger Größe ist der Bauraum zu gering, die Schraubenkopfaufgabe ist durch die unmotiviert starke Abrundung der Buchse unzureichend. Hierbei handelt es sich um einen Einsteigermangel – anstelle der Befestigungsschrauben nur Mittellinien zu zeichnen. Eine derartige „Bequemlichkeit“ kann sich nur der Erfahrene leisten, denn er „sieht“ die Schrauben in der richtigen Größe.

Beim Kontrollieren der Lagerung nach *Bild 1.10* ist ein Fehler offensichtlich: Der Kontrollierende prüft, ob die gewünschte Bewegung möglich ist und ob eine ausreichende axiale Fixierung vorhanden ist. Die Schwenkbewegung ist möglich, die axiale Fixierung dagegen ist unzureichend. Damit ist die Prüfung auf Funktion erfolgt und der Prüfungsvorgang zunächst beendet.

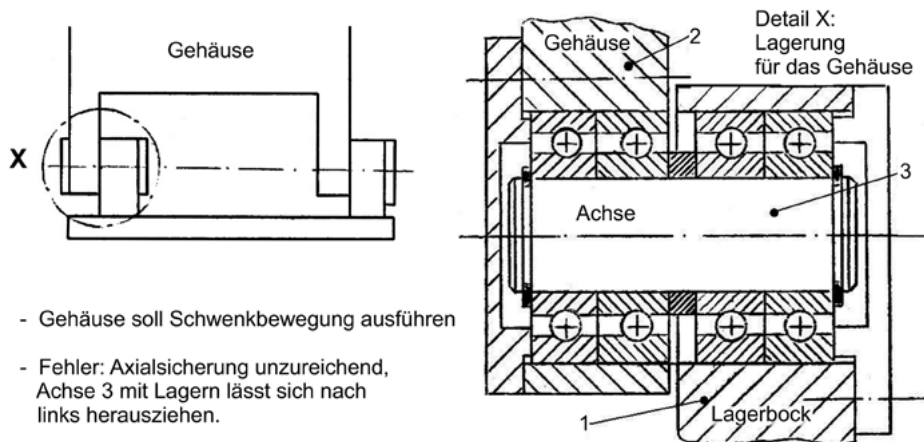
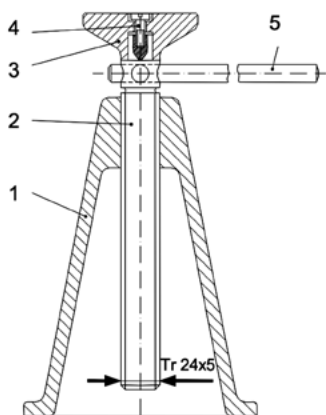


Bild 1.10 Lagerung (Abbildung enthält konstruktive Mängel)

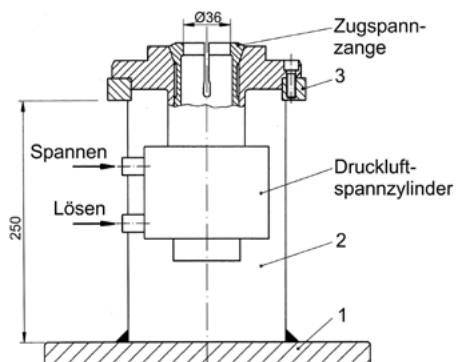
Aufgabe 1.3 Mindestens ein weiterer Fehler ist zu finden.

Bei den folgenden Aufgaben handelt es sich um ausgeführte Konstruktionen mit steigendem Schwierigkeitsgrad. Sie sollten vom Leser schrittweise analysiert werden. Die analytischen Fragestellungen und Beurteilungsgesichtspunkte sind in *Tabelle 1.1* zusammengestellt.

**Bild 1.11** Schraubenwinde

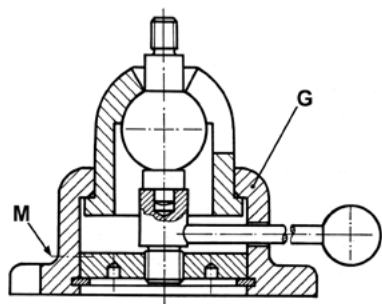
Die Funktion dieser Winde, geeignet zur zusätzlichen Abstützung eines aufgebockten Fahrzeuges, ist einfach durchschaubar und bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Aufgabe 1.4 Setzen Sie sich insbesondere mit der Gestalt von Teil 1 auseinander und treffen weiterhin Aussagen zu allen weiteren Einzelteilen.

**Bild 1.12** Spanneinrichtung

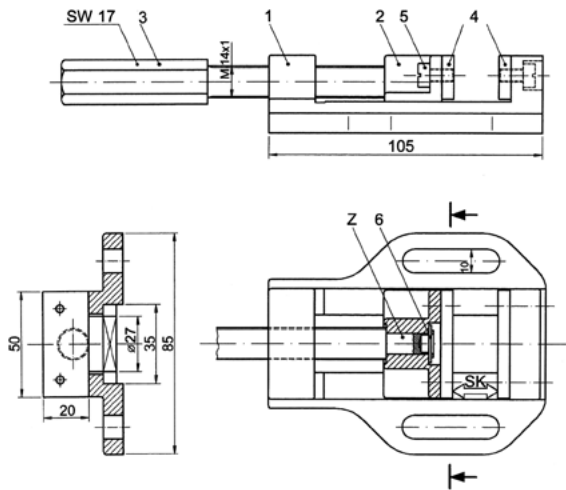
Diese Spanneinrichtung aus dem Vorrichtungsbau dient zum senkrechten Spannen zylindrischer Bauteile mit dem Durchmesser 36 mm, um am herausragenden Ende Fräs- und Bohrvorgänge auszuführen.

Aufgabe 1.5 Entwerfen Sie das geschweißte Grundgestell, das aus den Schweißteilen 1, 2 und 3 besteht.

**Bild 1.13** Kugelpopf [34]

Der Kugelpopf ist ein Vorrichtungselement für leichte Bearbeitungsaufgaben. Die eigentliche Spannvorrichtung (hier nicht dargestellt) wird auf den oben herausragenden Gewindezapfen geschraubt. Durch manuelle Betätigung des Kugelgriffs kann der Gewindezapfen um maximal 90° geschwenkt werden und in jeder beliebigen Lage zwischen 0° und 90° festgestellt werden.

Aufgabe 1.6 Ermitteln Sie die Gestalt von G. Welchen Sinn hat die Mittellinie M?

**Bild 1.14** Maschinenschraubstock

- 1 Grundkörper
 - 2 Gleitbacke
 - 3 Spindel
 - 4 Backenfutter
 - 5 Zylinderschraube
 - 6 Scheibe
- (Heimwerkerqualität, kein Präzisionsschraubstock)

Aufgabe 1.7 Führen Sie hier die komplette Analyse durch.

Tabelle 1.1 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. Funktion erkennen und durchdenken Ermittle:	▪ 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:	Begrenzung der Einzelteile Skizzen der Einzelteile können hilfreich sein!	
3. Genauigkeiten und Toleranzen durchdenken Hinweise:	▪ Spielsitze (enges und weites Spiel) ▪ Presssitze (geringe und große Übermaße) ▪ Summentoleranzen (wie werden sie beherrscht?) ▪ Überbestimmungen vorhanden?	
4. Herstellung der Einzelteile erkennen Hinweise:	▪ Gussstück spanend bearbeitet ▪ Schweißkonstruktion spanend bearbeitet ▪ Aus dem Vollen gearbeitet ▪ Strangteil ▪ Blechteil ▪ Erkennbare Fertigungsprobleme	
5. Montagefolge ermitteln	Ist Montagevereinfachung möglich?	

Tabelle 1.1 (Fortsetzung)**6. Fehler und Mängel zusammenstellen**

Hinweise:

- Zeichnungsfehler
- Funktion; ist das Funktionsprinzip zweckmäßig?
- Teilefertigung
- Montage

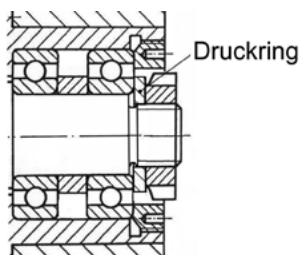
■ 1.6 Konstruktionsanalyse – Lösungen

Lösung zu Aufgabe 1.1, Hochdruckventil

Die gewählte Darstellung ist für größere Rohrleitungsventile üblich. Derartige Ventile zeigen in den technischen Zeichnungen zwei Ansichten in einer Darstellung. So hat man sich im vorliegenden Bild das Teil 6 voll symmetrisch zur senkrechten Mittellinie vorzustellen. Gezeichnet ist der Verbindungsarm (unschraffiertes Teil mit Positionsnummer 6) nur im linken Bildteil. In gleicher Art ist die Stopfbuchsbrille 5 zu sehen, hier nur im rechten Bildteil mit Verschraubung dargestellt. Die dargestellten Geometrien von 5 und 6 hat man sich um 90° versetzt zueinander vorzustellen.

Lösung zu Aufgabe 1.2, Zwischenräderlagerung

Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Mängeln ist die axiale Festlegung der zwei Kugellager zu kritisieren. Die gewählte Ausführung zielt auf die axiale Verspannung sowohl der Außenringe als auch der Innenringe gegen Distanzbuchsen. Hier kann es zur axialen Verschiebung (Verspannung) von Innen- und Außenring eines Lagers kommen, wodurch unkalkulierte Axialkräfte auftreten können. Die Kugellagerinnenringe drehen sich mit der Achse, bei konstanter Querkraftrichtung tragen sie eine Umfangslast und sollten fest auf der Achse sitzen (Achs-Ø Toleranz k6). Deshalb sollten sie auch axial über eine Distanzbuchse verspannt werden. Hierbei muss die Verspannmöglichkeit dadurch gewährleistet werden, dass der tragende Achsabsatz etwas kürzer als die Summe der Breiten dieser Teile ist; außerdem benötigt man in der Regel einen Gewindeauslauf oder eine Gewinderille.

**Bild 1.15** Axiales Verspannen der Kugellagerinnenringe

Das direkte Verspannen der Innenringe erfordert aber auch die Gewährleistung eines Mindestdurchmessers von der Anpressseite (Lagerrundung), die in der Vorlage gewählten Proportionen würden das kaum zulassen. Zweckmäßig käme hier ein Druckring zum Einsatz.

Die Außenringe wären in einer Gehäusebohrung mit Toleranz H6 verschiebbar; wenn kein Axialspiel zulässig ist, könnte das mit dem Gewindering eingestellt werden. Allerdings

muss hier eine Sicherung gegen Verdrehen erfolgen. Die Buchse zwischen den Außenringen ist nicht erforderlich.

Lösung zu Aufgabe 1.3, Lagerung

Bisherige Feststellungen aus der Funktionskontrolle: Schwenkbewegung möglich, Axial-sicherung nach links nicht gewährleistet. Die doppelte Lagerung der Achse 3 beinhaltet aber einen entscheidenden Nachteil – die Achse könnte sich um sich selbst drehen und hätte damit einen völlig überflüssigen Freiheitsgrad. Das heißt die Achse könnte in Teil 1 oder Teil 2 festsitzen und das entsprechende Lagerpaar könnte entfallen. Höchstwahrscheinlich ist auch der Einsatz eines Lagerpaars (zwei gleiche Rillenkugellager) an sich nicht sinnvoll; ohne Kenntnis der Belastung ist jedoch keine sichere Aussage möglich.

Lösung zu Aufgabe 1.4, Schraubenwinde

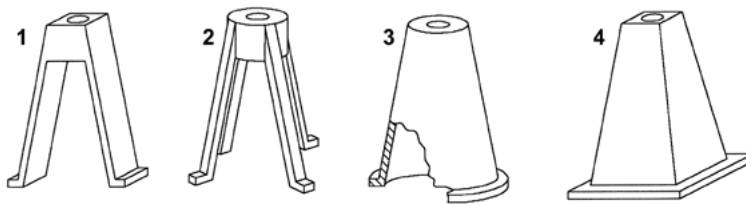


Bild 1.16 Grundkörper in vier Varianten

Das Bild zeigt Varianten des Grundkörpers der Schraubenwinde. Es ist festzustellen, dass im Umgang mit technischen Zeichnungen und statischen Problemen Ungeübte zu Lösungen neigen können, wie die Varianten 1 und 2 zeigen, obgleich damit die Zeichnung in *Bild 1.11* mit ihrer durchgehenden Grundlinie falsch interpretiert wurde. Die Zeichnung lässt nur die Gestalt nach Variante 3 oder 4 als richtig zu.

Die Herstellung durch Gießen – erkennbar an den Gussrundungen – erfordert ein Modell. Variante 3 lässt die Modellherstellung durch Drechseln zu und stellt damit die kostengünstigste Lösung dar.

Teil 2:	Spindel, Drehteil mit Trapezgewinde und zwei sich kreuzenden Querbohrungen.
Teil 3:	Teller, Gusskörper mit Drehbearbeitung innen und oben, denn an der Außenkontur sind Gussrundungen vorhanden. Spielsitz mit reichlichem Spiel zwischen 3 und 2, da keine Führungsqualität benötigt wird.
Teil 4:	Zylinderschraube, sichert 3 gegen Verlieren, lässt aber Verdrehung zwischen 2 und 3 zu. Die Schraube soll offensichtlich am Gewindeende verspannt sein, damit dass gezeichnete Spiel zwischen 3 und 4 erhalten bleibt. Die Darstellung des Gewindegrundlochs ist nicht exakt (Kernlochüberlänge ist nicht dargestellt), in diesem Fall aber zulässig.
Teil 5:	Stift (Stange) zum Einstecken in 2 (reichliches Spiel) zum Drehen von 2. Das linke Stiftende zeigt eine Fase, das rechte eine Kuppe. Die Fase ist leichter herstellbar und sollte rechts ebenfalls Verwendung finden.