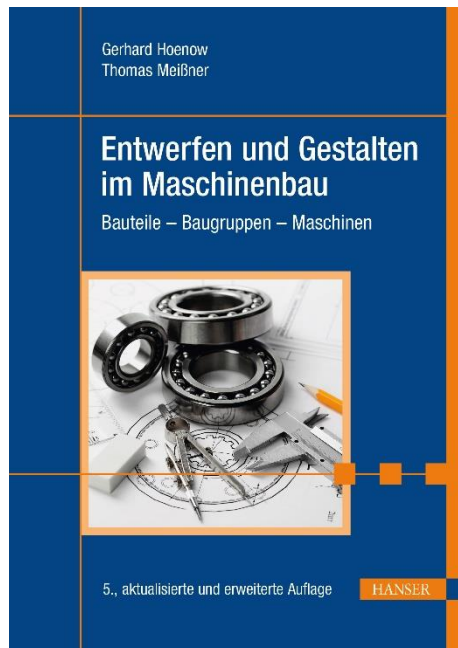


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau

von Gerhard Hoenow und Thomas Meißner

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

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

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446474178>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# 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

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>11</b>
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
<b>2 Nicht gestalten, sondern kaufen</b> .....	<b>30</b>
<b>3 Kraftgerechtes Gestalten – ein zentrales Anliegen</b> .....	<b>32</b>
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

<b>4</b>	<b>Fertigungsgerechtes Gestalten der Einzelteile</b>	<b>87</b>
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
<b>5</b>	<b>Fügen und Montieren .....</b>	<b>235</b>
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
<b>6</b>	<b>Zur Darstellung .....</b>	<b>261</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassende Bemerkungen und Ausblick .....</b>	<b>265</b>
	<b>Literatur- und Bildquellen/Weiterführende Literatur .....</b>	<b>270</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>272</b>



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  $45^\circ$  sondern mit  $15^\circ$  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:

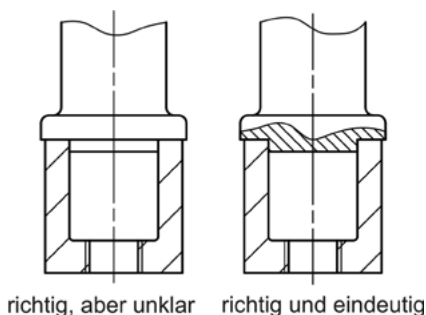
- Maßgenauigkeit (Maße und Maßtoleranzen)
- Formgenauigkeit (z. B. Ebenheit, Zylinderform)
- Lagegenauigkeit (z. B. Parallelität, Rechtwinkligkeit)
- Oberflächenrauigkeit

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.

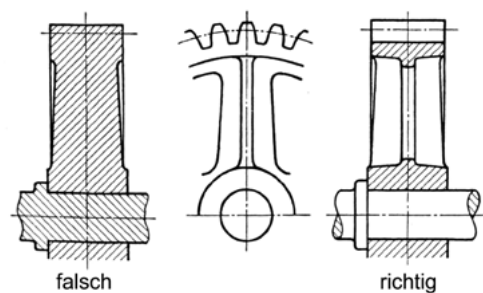
Es muss aber darauf verwiesen werden, dass der Weg vom ersten Entwurf zur Einzelteilzeichnung kein linearer Ablauf ist. Keine erste Entwurfszeichnung ist ohne Mängel und man muss sich schrittweise auf umständlichen iterativen Wegen dem Ziel – der angestrebten Optimallösung – nähern. Ohne den Willen zur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

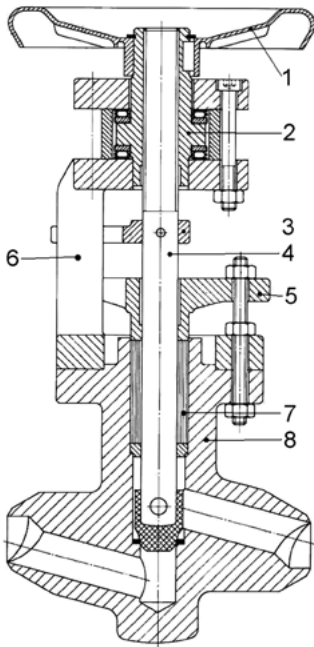


**Bild 1.1** Ungünstige und eindeutige Bruchdarstellung



**Bild 1.2** Falsche und richtige Schnittführung 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:

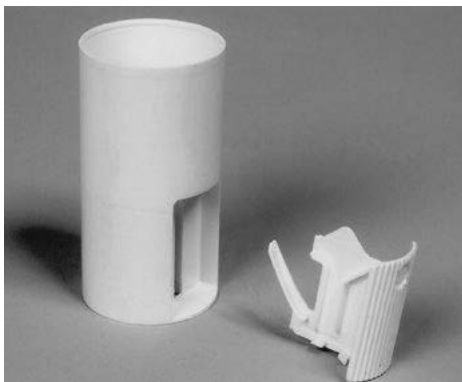
- Wie funktioniert das?
- Warum ist es so ausgeführt, wie es vorliegt?

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.



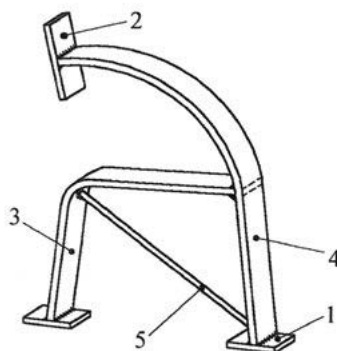
**Bild 1.4** Blech-Kunststoff-Baugruppe für Hängeschrankbefestigung [45]  
Die komplizierte Gestaltung der Einzelteile weist auf Großserienfertigung hin. Zum senkrechten Ausrichten des Hängeschrankes ist eine Justiermöglichkeit integriert.

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]

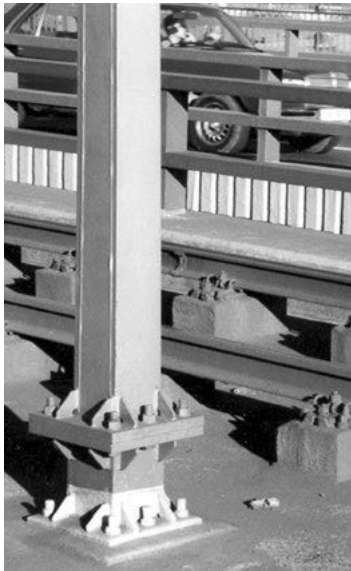
Geradezu einfach durchschaubar ist dagegen das geschweißte Gestell der Parkbank nach *Bild 1.6*, wie die hinzugefügte Zeichnung erkennen lässt. Es lohnt sich aber trotzdem einmal richtig hinzuschauen, aus welchen Bestandteilen das Gestell zusammengeschweißt ist und welche Halbzeuge und Fertigungsverfahren 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

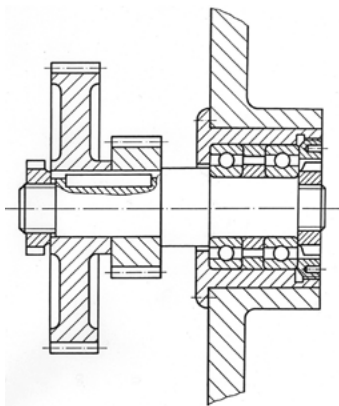
Die Modifizierung bestehender Maschinenbaugruppen ist bei sehr vielen Konstruktionsarbeiten vorherrschend (Anpassungskonstruktion). Daher gehört die Beurteilung von Maschinenbauzeichnungen zu den ständigen Arbeiten des Konstrukteurs. Der Einsteiger ist gut beraten, sich schrittweise in das Lesen, Erkennen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

# Sachwortverzeichnis

## A

Abhebeseite 47, 53, 260  
Abkanten 70, 168, 177, 179, 181  
Abkantprofil 68, 142, 179  
Abkantung 64, 70, 180  
Abmaße 207f., 214  
Abstandsstege 69  
Achsbefestigung 59  
Achshalter 249  
additive Fertigung 134  
– Gestaltungsziele 135  
Al-Guss 44, 58, 191  
Anbohren 195  
– schräges 195  
Andrückseite 47, 53, 85  
Anschnitt 194  
Ansteckteile 116f., 123, 134, 230  
Arbeitsfläche 62, 78, 109, 129, 131, 133, 151, 153, 199, 202  
– an Schweißkonstruktionen 62, 151, 153  
– ebene 199  
Arbeitsflächengestaltung 131  
Aufbohren 214, 216, 222  
Aufspannung 90f., 140, 173, 190, 197, 202  
Ausfallstücke 175  
Aushebeschrägen 120, 123, 186  
Ausklinkung 142, 164  
Aussehen 267  
Außenkern 115f., 123, 133, 189, 230  
Außenkontur 25, 27, 112, 114f., 121, 176, 195  
Austauschmethode 217  
Automatenstahl 95

Axialsicherung 220, 235, 247, 249  
– spielfreie 220, 247

## B

Ballen 112, 114, 117, 119, 123, 133  
Baustahl 143, 176  
Beanspruchung 15, 18, 57, 62, 96, 146, 149, 160, 164, 266  
– dynamische 57, 62, 96, 146, 149, 160, 164  
– statische 62, 160  
Beanspruchungsart 32, 38  
Bearbeitung 23, 25, 27f., 33, 56, 91, 100, 104, 106, 110, 131  
– spanende 91  
Bearbeitungszeichnung 148  
Bearbeitungszugabe 124, 131f.  
Berechnungsphase 33  
Berechnungsverfahren 15, 80  
Biegebeanspruchung 15, 32, 35, 37, 41f., 46, 52, 60, 74, 78, 85  
Biegeelastische Elemente 76  
Biegemomentenverlauf 40, 50  
Biegespannungsgitter 127  
Bindebleche 146  
Blasenbildung 126  
Blattfeder 74, 127  
Blechaugen 169  
Blechaussteifung 64  
Blechbiegeteil 53, 160, 178, 182  
Blechfaltkonstruktion 143, 178  
Blechformate 173  
Blechformteile 68, 89, 155, 160, 169, 181  
Blechleichtbau 167  
Blechleiter 169

Blechschele 78  
Blechschneiden 14, 100, 106, 175  
Blechteilgestaltung 64, 166f., 172  
Blechversteifung 65, 68, 71  
Blechwinkel 69, 155  
Bohren 14, 28, 100, 103f., 119, 140, 188, 194, 214, 216, 220, 222, 240, 249, 253  
Bohrer 188, 194f., 214, 222  
Bohreraustritt 195  
Bohrerbelastung 195  
– einseitige 195  
Bohrungen 203  
– abgesetzte 203  
Bohrungskern 117  
Bördel 64, 68, 70, 92, 168, 172  
Bordwand 185  
Breitkeilriemengetriebe 243  
Bremshebel 140  
Brennriefen 104  
Brennschneiden 90, 100, 103f., 155, 157, 163, 176, 246  
Brennschneidteil 92, 103ff., 156, 160, 163, 185, 231

## C

C-Gestell 35, 144

## D

Dachgepäckträger 89  
Dehnlänge 62, 246, 254  
Design 267  
– technisches 267  
Diagonalverrippung 44f.

Doppelkörper 193  
 Drehbearbeitung 25, 140, 158, 160, 195  
 Drehen 27f., 88, 100, 104, 115, 189f., 192f., 195, 197, 214, 222, 248  
 – von Stange 140, 198f.  
 Drehkopf 182  
 Drehmeißel 196  
 Dreibackenfutter 192  
 Dreiblechnaht 150, 154  
 Dreieckverrippung 45, 63, 84  
 Drücken 181  
 Durchbiegung 32, 39, 60  
 Durchsetzung 171, 185

## E

Eckaussteifung 63, 164  
 Ecksicke 68, 177  
 Eckversteifung 162  
 Einformen 113, 142  
 Einsatzstahl 95  
 Einstellmethode 217, 219ff.  
 Einstücklösung 235  
 Einstückteil 148  
 Eisenwerkstoffe 15  
 Entformen 114, 116, 124  
 Entformungsrichtung 120  
 Entgraten 128  
 Entlastungskerben 62  
 Entwicklungsrisiko 30  
 Erscheinungsbild 18, 134  
 – gefälliges 134

## F

Federstecker 249  
 Feinbearbeitung 190  
 Feingestaltung 129, 205  
 Feinschlichten 100  
 Fertigungsdurchlauf 102, 189  
 Fertigungsgenauigkeit 240  
 Fertigungsprozess 91  
 Fertigungstechnik 11, 88, 117  
 Fertigungsverfahren 87  
 – Gliederung 87  
 Fingerfräser 190  
 Fläche 223  
 – geschabte 223  
 Flächenberührung 73

Flächenpressung 71, 254  
 Flächenträgheitsmoment 67  
 Flachprofil 80, 92, 142  
 Flanschbiegung 55  
 flanschlose Verschraubungen 56, 58  
 Flanschproblem 19, 55, 57, 245, 253  
 Flugzeugholm 141  
 Formen 115, 119  
 – kernlos 115, 119  
 Formenwelt 88, 101, 103, 107, 112, 140, 172, 179, 181, 186  
 – Strangteile 140  
 Formherstellung 114, 119  
 – manuell 114, 119  
 Formherstellung (Guss) 112, 122  
 Formschluss 158, 178, 239, 241  
 Formtoleranzen 190, 222  
 Fräsersatz 201  
 Freiformschmieden 186  
 Freimachung 134  
 Freistich 195, 200, 248  
 Fügefasen 253  
 Fünfseitenbearbeitung 202  
 Fußflansch 53, 58, 83, 134  
 Fußgestaltung 58, 122, 165  
 Fußleiste 230  
 Fußplatte 18, 46f., 53, 83, 193

## G

Gasblasen 124f.  
 Gesenkschmieden 88, 186  
 Gestalteinfluss 94, 117, 189  
 Gestalten 12, 16, 32, 87  
 – fertigungsgerechtes 12, 16, 87  
 – kraftgerechtes 32  
 – montagegerechtes 16  
 Gestaltergänzung 140f.  
 Gestaltungsregeln 47, 60, 74, 123, 252, 265  
 Gestellgestaltung 164  
 Getriebegehäuse 45, 55, 57, 118, 122, 155  
 Gewährleistungspflicht 30  
 Gewindeauslauf 24, 196  
 Gewindebohrer 194  
 Gewindefreistich 196  
 Gewinden 28, 140, 194  
 Gewindestifte 14, 27, 249, 253

Gießbett 114  
 Gießerei 45, 112, 117, 120, 123, 129, 132  
 Gießerei Praktikum 117  
 Gratbildung 128, 175  
 Gratlage 128  
 Greiferkopf 105  
 Grenzrachenlehre 225  
 Grobblech 18, 64, 100, 143, 155, 163, 185  
 Grobgestalt 33, 117, 155  
 Größeneinfluss 40  
 Großserienfertigung 17, 89, 93, 101, 167, 181, 186, 217  
 Großzahnräder 79  
 Grundbohrung 194, 203  
 Grundfertigungsverfahren 12, 93  
 Grundplatte 19, 45f., 78, 84f., 107, 146, 155, 230, 232  
 Gruppenaustauschbarkeit 217  
 Gussrundung 25, 28, 109, 118f., 123, 131  
 Gussstück 110f.  
 – bearbeitungsfreies 110f.  
 Gussstückgestaltung 45, 60, 107, 112, 123, 134, 266  
 Gusswerkstoffe 38, 88, 96, 167

## H

Haarwinkel 225  
 Halbzeug 33, 93, 166, 202  
 Halteoperationen 253  
 Haubenbefestigung 60  
 Hauptnachteil 168  
 Hauptvorteil 107, 166  
 Hebel 15, 41, 80, 89f., 92f., 105, 128, 167, 212, 241  
 Heftschrauben 47, 54, 83, 85  
 Herstelleraufwand 40  
 Hinterschnitt 116, 118, 123, 133, 147  
 Hochspannungsmast 79  
 Hohl-guss 46f., 113, 120, 123  
 Hohlprofil 44, 51, 63, 71, 84, 92, 138, 146, 155, 160, 231  
 H-Profil 138  
 Hutprofil 67

## I

Innenbearbeitung 197, 203  
ISO-Toleranzen 207, 210

## J

Justieren 27, 237, 255 ff.  
– Kegelräder 257  
– Schneckenrad 256

## K

Kaltbiegestellen 161  
Kantenpressung 28, 71, 73  
Kantenüberhitzung 151  
Kegelstift 240, 242, 249  
Kehlnaht 62, 92, 146, 150, 152  
Kehlnahtdicken 152  
Keilprofil 187 f., 204, 240 f.  
Keilriemenscheibe 93, 171, 226, 236, 243, 252  
Kerbstelle 148, 150  
Kern 113, 117, 120, 129, 133  
– armierter 129  
Kerne 121  
– vereinigte 121  
Kernentfernen 129  
Kernentgasung 126  
Kernkasten 114, 116, 121, 134, 189  
Kernlagerung 59  
Kernmarken 117  
Kernöffnungen 123, 126, 147  
Kernstützen 121  
Kippständer 91  
Kleinserienfertigung 11, 90, 105, 120, 142, 158, 168, 181, 217, 221  
Klemmnabe 106, 170  
Klemmschraube 52, 77, 116, 157, 189, 221, 231  
Klemmverbindung 77, 244, 246  
Klumpfuß 58  
Knickbeanspruchung 65  
Knicklänge 83 f.  
Knieblech 162  
Knotenpunkt 152, 161  
Know-How 30, 88  
Kolbenbolzen 221, 228, 234  
Kolbenkompressor 228  
Kombimaschine 172 f., 177  
Konstruktionskunststoffe 97

Konstruktionswerkstoffe 94, 99  
Kontermutter 165, 220, 258 f.  
Kontern 259  
Korrosion 63, 146, 159, 165, 230  
– Schweißspalt 63, 146, 159, 165, 230  
Kostendenken 90  
Kostenminimum 117  
Krafteinleitung 52, 158  
Kraftschlussverbindung 242  
Kraftschraube 47, 53, 83, 260  
Kraftumlenkung 34, 48, 55, 60, 77, 160  
Kraglänge 37, 188  
Kragträger 15  
Kran 35, 142, 147, 160, 182  
Krantransport 78  
Kreissägewelle 226, 233  
Kreuzprofil 46, 50, 80, 85  
Kugelpfopf 22, 26 f.  
Kühlkörper 140

## L

Lagerauge 46, 48, 54, 90, 233  
Lagerbock 37, 41, 45 f., 51, 61, 83, 118, 130, 189, 193  
Lagerdeckel 53, 57, 229  
Lagerfuß 52  
Lagerkörper 46, 50 f.  
Lagesicherung 157, 253  
– formschlüssige 157  
Lagetoleranzen 88, 101, 158, 190, 193, 205, 222, 224, 233, 239  
Längsstiftverbindung 240  
Lappenverbindung 182  
Laserschneiden 157, 174, 176  
Lichtbogenschweißen 237  
Linienberührung 71, 73, 83  
Löcher 111, 120  
– gegossene 111, 120  
Lochnaht 150  
Lochverstärkung 170  
Lünette 197  
Lunker 124, 266

## M

Maschinenelemente 14, 235, 267

Maschinenpark 64, 189  
– verfügbarer 64, 189  
Maschinenschraubstock 23, 27  
Maßgenauigkeit 13, 95, 101  
Materialdicken 103  
– schneidbare 103  
Materiallager 101  
Mehrfachspanneinrichtung 81, 85  
Mengenbereich 88, 92, 107  
Mengenleistung 88  
Messerkopf 189, 199  
Messerscheibe 108  
Messmittel 32, 101, 207, 216  
Messzeuge 95, 101, 222  
Mindestwanddicke 80  
Minimalwanddicken 109  
Mischerarm 111, 120, 241  
Modell 113, 118, 123, 134  
– geteiltes 113, 123  
– ungeteiltes 118, 123, 134  
Modellbau 117  
Modelleinrichtung 112, 116, 123, 133, 230  
Modellkosten 89, 108, 122  
Modell-Nr. 132 f.  
Modellteilung 115, 122, 134, 230  
Montage 14, 24, 28, 33, 79, 92, 101, 218, 239, 244, 247, 252, 257

## N

Naht 18, 122, 150, 167  
– schubbeanspruchte 18, 150  
– verputzte 122, 167  
Nahtanhäufung 152  
Nahtwurzel 148, 153  
Naturausformung 120  
NC-Maschinen 106, 172, 176, 199  
Nibbelmaschine 100, 106  
Nietkonstruktion 19, 141, 145  
– geschweißte 19, 145  
Normteile 14, 16, 30, 216, 235, 239, 251, 259  
Nutfräsen 200 f.

## O

Oberflächenangaben 221  
Oberflächenrauigkeit 13

**P**

Passfeder 72, 110, 236, 239, 241, 243  
 Passflächen 109, 221  
 Passmethode 217f.  
 Passscheibe 218, 257  
 Passteil 215, 218  
 Passzugabe 218  
 Planierschild 64  
 Polygonbearbeitung 202  
 Präzision 91, 111, 187, 215, 242, 249  
 Präzisionsfertigung 100  
 Pressrest 141  
 Pressverbindung 237f., 240, 243f.  
 Produkthaftung 30  
 Punktberührung 73, 83  
 Punktschweißen 68, 143, 177, 181, 184  
 Putzsteg 128

**Q**

Querschnitt 38  
 – materialökonomischer 38  
 Querstiftverbindung 240  
 Querverrippung 44

**R**

Rachenlehre 225  
 Radkörpergestaltung 79  
 Radnaben 109  
 Randversteifungen 68  
 Rauheit 205, 221, 254  
 Räumen 204, 214, 222, 241  
 Räumnadel 204, 241  
 Rautiefe 221f.  
 Rechteckprofil 67, 231  
 Reibschweißen 238  
 Reitstockabstützung 192  
 Relativkosten 88  
 Riemenschutzhaube 167  
 Rippe 48, 60, 108, 131, 177  
 – dreieckförmige 60  
 – durchlaufende 60  
 Rippenguss 46, 118, 123  
 Rippenrohr 128  
 Rohgussfläche 109

Rohgusstoleranzen 129, 133  
 Rohrbefestigung 245  
 Rohrstabanschlüsse 156  
 Rohteil 90, 104, 109, 189, 238  
 Rückwärtshammer 243  
 Rundbiegen 172  
 Rundheitstoleranz 223  
 Rundlauftoleranz 227  
 Rundstahlbügel 58  
 Rundtisch 202

**S**

Sandecke 41, 126, 131, 133, 266  
 Sandform 113, 115, 118, 122  
 Sandformguss 89, 107  
 Säulenfuß 134  
 Schablonenformen 112  
 Schablonieren 112, 123  
 Schaumstoffmodell 112  
 Scheibenfräser 190, 200f.  
 Schelle 77f., 245  
 Scherschneiden 175  
 Scherschneidfläche 175  
 Schlichten 100  
 Schlüsselflächen 74, 201  
 Schlussteil 216, 219  
 Schmelzschweißen 143, 184, 238  
 Schmieden 80, 166  
 Schmiedestück 185, 238  
 Schneidkanten 103  
 Schnellspannschraubstock 104, 211  
 Schnittfläche 104  
 Schnittkraftmesser 75  
 Schraubenansatz 54, 56, 157, 189  
 Schraubensicherung 164, 254, 259  
 Schraubentasche 53, 56  
 Schraubenwinde 22, 25  
 Schrumpfverbindung 239  
 Schruppen 100  
 Schubbeanspruchung 79, 150  
 Schweißelektrode 150, 154, 266  
 Schweißgruppe 148, 153, 161  
 Schweißnaht 148, 161  
 Schweißposition 156  
 Schweißstoß 148

Schweißteil 18, 22, 83, 86, 92, 148, 152, 155, 160, 231  
 Schweißverfahren 141, 143, 148, 181  
 Schwenklager 106, 157  
 Sechskantstahl 28, 202  
 Seilbahnstütze 165  
 Seilscheibe 115f.  
 Seiltrommel 126, 236, 250f.  
 Senken 28, 194, 214, 222  
 Senker 194  
 Senkung 204  
 – rückseitige 204  
 Serienfertigung 88, 92, 217, 267  
 Setzstock 197  
 Sicherungsring 216, 219, 246ff.  
 Sicke 64f., 70  
 Sickenbilder 66  
 Sickenverläufe 66  
 SLM-Bauteile  
 – Gestaltungsrichtlinien 137  
 Sonderprofile 69, 138f.  
 Sonderstrangprofile 139  
 Spaltkorrosion 159  
 Spannansatz 193, 198  
 Spanneinrichtung 22, 26, 73, 81, 211  
 Spannen 22, 26, 85, 88, 133, 192, 197f., 203  
 Spannfläche 202, 233  
 Spannmarken 193  
 Spannnuten 192  
 Spannschlitz 202  
 Spannungsgitter 127  
 Speichen 80  
 – biegebeanspruchte 80  
 Speiser 124  
 Spiegel 64, 68, 70  
 Spiel 23, 25, 28, 71, 138, 208, 215, 219, 236, 258  
 Spielsitz 25, 28  
 Spitzendrehteil 198  
 Splint 144, 249  
 Sprengring 247  
 Stahlguss 97, 110, 123  
 Ständer 96, 105, 162, 165f., 231  
 – gegossener 96, 166  
 – geschweißter 105, 162, 165f., 231  
 Stangendrehteil 198  
 Stangenköpfe 18, 155f.

Stanzformung 172, 185  
 Stanzlaschen 140, 171, 251  
 Stativschlitten 157, 231  
 Steifigkeit 27, 32, 60, 62, 68,  
 70, 134, 146, 160, 184, 191  
 Stellring 219 f., 246, 248  
 Stirnlauftoleranz 224  
 Stirnreibverbindung 226, 243  
 Stirnwalzenfräser 189, 200  
 Stoßen 204  
 Strangteil 23, 140 f., 202  
 Stülpverformung 248  
 Stumpfnah 148  
 Stützwinkel 111  
 Summentoleranz 23, 212, 216 f.,  
 220, 226, 255 f.

## T

Tauchfräsen 190, 200, 240  
 technische Zeichnung 19, 24  
 Temperguss 93, 96, 108, 123,  
 158, 160, 185, 238  
 Toleranzfeld 208 f., 214  
 Torsion 15, 32, 38, 42 f., 45, 51,  
 62 f., 74, 78, 84, 147  
 – bei offenem Querschnitt  
 45  
 Torsionsfederung 75  
 Torsionssteifigkeit 43, 45, 64  
 T-Profil 41, 46 f., 50 f., 80, 92,  
 118, 137, 160  
 Trägeranschluss 161  
 Tuschieen 222, 256

## U

Überbestimmung 206 f.  
 Überlappung 145, 150  
 Übermaßverbindung 237 f.  
 Umformen 14, 87, 168

U-Profil 46, 64, 67, 138, 141, 161,  
 232  
 Urformen 87

## V

Ventilkopf 109, 202  
 Verbindung 56, 58  
 – flanschlose 56, 58  
 Verformung 20, 32, 36, 38, 43,  
 59 f., 70, 73, 96, 152, 193, 198,  
 228  
 Verformungsbehinderung 61 f.  
 Verschraubung 57  
 – flanschähnliche 57  
 Versteifung durch Eckbleche  
 164  
 Versteifung durch Mittelbleche  
 164  
 Versteifungselemente 67  
 – Blech 67  
 Vierbackenfutter 192  
 Vierkantwelle 111, 241  
 Vollformgießen 107, 112, 230  
 Vorlegekeile 93  
 Vorzentrierung 254

## W

Walzenfräser 201  
 Wandanschluss 127  
 Wanddicke 123  
 – minimal gießbar 123  
 Wanddickenübergänge 149, 160  
 Wandverdickung 125, 133, 168  
 Wärmekonzentration 127  
 Wasserstrahlschneiden 75, 103,  
 160, 176  
 Welle-Nabe-Verbindung 216,  
 220, 235, 237 f.  
 – Eigenschaften 237

Werkstoffanhäufung 124, 128,  
 133, 266  
 Werkstoffe 14, 33, 39, 93 ff.,  
 137, 143, 146, 176  
 – Maschinenbau 95  
 Werkstoffwahl 94  
 Werkzeugauslauf 201, 204  
 Werkzeugraglänge 188  
 Werkzeugspeicher 189  
 Widerstandsmoment 67  
 Wiederholgruppe 30  
 Wiederholteil 30  
 Windrad 79  
 – Mast für 79  
 Winkel 177  
 – biegesteife 177  
 Winkelhebel 92, 155  
 Winkelprofil 138, 142, 161  
 Wölbung 64, 70

## Z

Zahnrad 81  
 – geschweißtes 81  
 Zeichnung 148, 213, 261  
 – technische 148, 213, 261  
 Zentrieransatz 198  
 Zentrierung 193, 197 f., 232  
 Zugänglichkeit 144, 150, 154,  
 163, 183, 242, 244, 247, 253,  
 266  
 Zugbeanspruchung 32, 34, 150  
 Zugstab 40  
 Zugstabanschluss 63  
 Zulieferer 30, 88, 172, 244  
 Zulieferkomponenten 16, 30  
 Zuschnitt 101  
 Zwischenradlagerung 20  
 Zylinderformtoleranz 194, 223