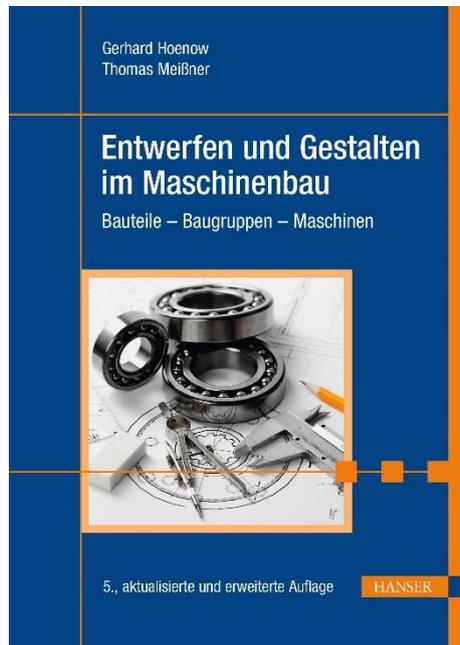


HANSER



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

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

1

Einführung

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 Haushaltgeräte, 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.

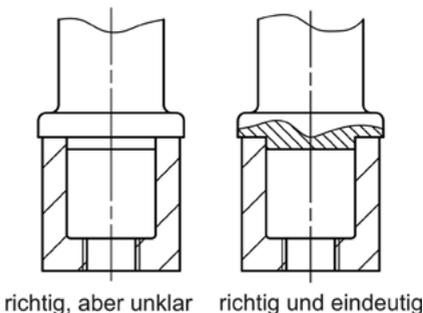


Bild 1.1 Ungünstige und eindeutige Bruchdarstellung

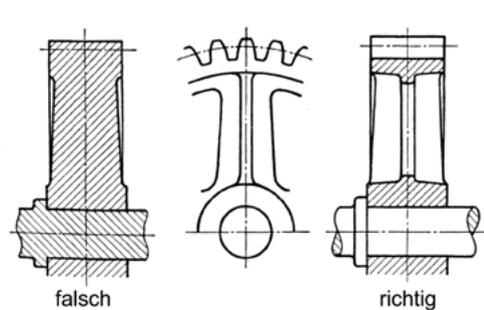


Bild 1.2 Falsche und richtige Schnittführung an Zahnrad und Welle [43]

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.

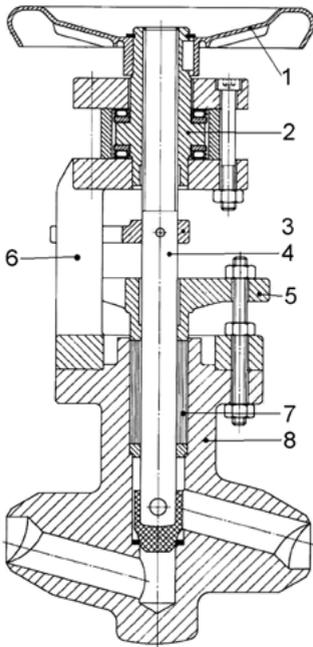


Bild 1.3 Hochdruckventil [12]

- 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 Recyclinggerechtheit

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.

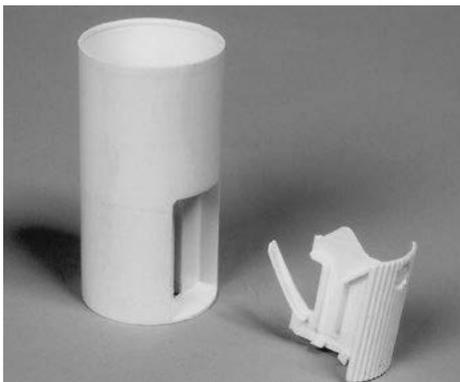


Bild 1.5 Vorratsbehälter mit Vereinzelungsvorrichtung [45]

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.

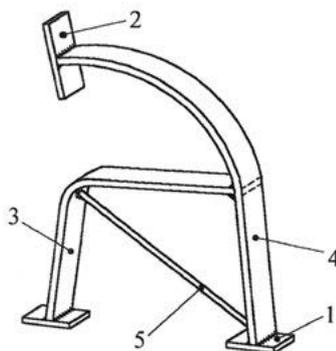


Bild 1.6 Parkbank

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 Fahrdrahtmastes 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 aufgebrachten 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.

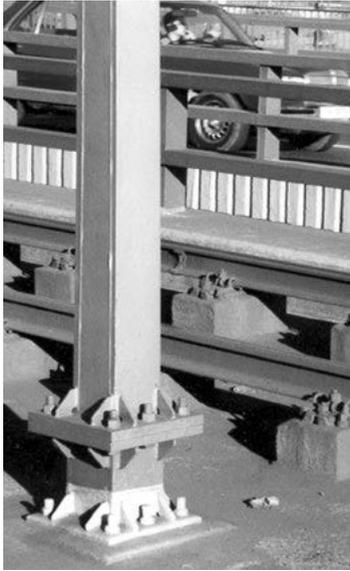


Bild 1.7 Fahrdradmast für Straßenbahn (Mastfuß)



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 erahnt 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.

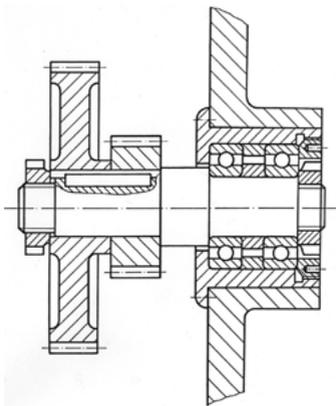


Bild 1.9 Zwischenräderlagerung
(Abbildung enthält konstruktive Mängel)
Geforderte Funktion: Die Zahnräder sind
Umsteckräder (verschiedene Größen),
die einfach wechselbar sein sollten.

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
Blechschnitten 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
Brennrifen 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.
 Einstückerlöschung 235
 Einstückteil 148
 Eisenwerkstoffe 15
 Entformen 114, 116, 124
 Entformungsrichtung 120
 Entgraten 128
 Entlastungskerb 62
 Entwicklungsrisiko 30
 Erscheinungsbild 18, 134
 – gefälliges 134

F

Federstecker 249
 Feinbearbeitung 190
 Feingestaltung 129, 205
 Feinschichten 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
 Gießereipraktikum 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
Kugelkopf 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
 Rundlaufstoleranz 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
 Schrumpferverbindung 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
 Spannnoten 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 219f., 246, 248
 Stirnlauf toleranz 224
 Stirnreibverbindung 226, 243
 Stirnwalzenfräser 189, 200
 Stoßen 204
 Strangteil 23, 140f., 202
 Stülpverformung 248
 Stumpfnah 148
 Stützwinkel 111
 Summentoleranz 23, 212, 216f.,
 220, 226, 255f.

T

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

U

Überbestimmung 206f.
 Überlappung 145, 150
 Übermaßverbindung 237f.
 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,
 59f., 70, 73, 96, 152, 193, 198,
 228
 Verformungsbehinderung 61f.
 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, 237ff.
 – Eigenschaften 237

Werkstoffanhäufung 124, 128,
 133, 266
 Werkstoffe 14, 33, 39, 93ff.,
 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, 197f., 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