

# HANSER



## Leseprobe

zu

## „Konstruktionspraxis im Maschinenbau“

von Gerhard Hoenow und Thomas Meißner

Print-ISBN: 978-3-446-46485-8  
E-Book-ISBN: 978-3-446-46499-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46485-8>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

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

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

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

# Vorwort

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

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

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

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

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

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

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

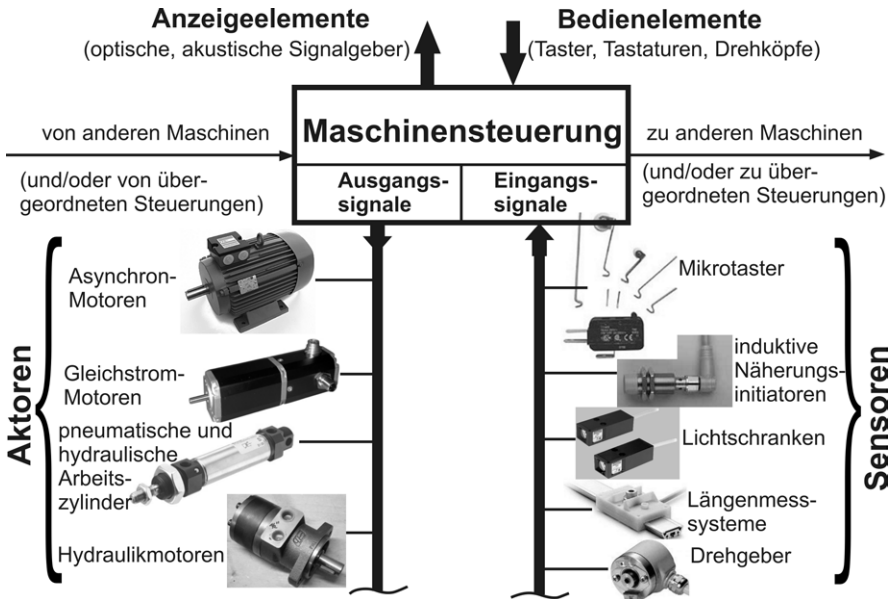
*Gerhard Hoenow und Thomas Meißner*

# 1

# Einführung

## ■ 1.1 Ausgangspunkt

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



**Bild 1.1** Die zentrale Funktion der Maschinensteuerung



**Bild 1.2**

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

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

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





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

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

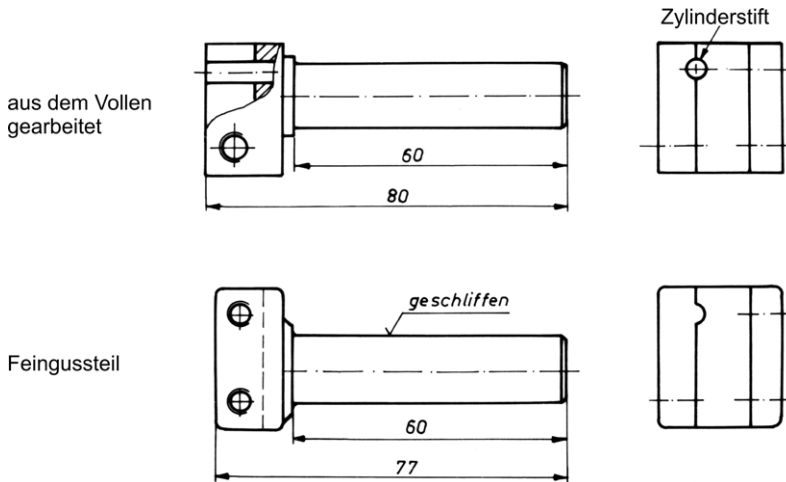
## ■ 1.2 Analyse als Voraussetzung für das Gestalten von Maschinen

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



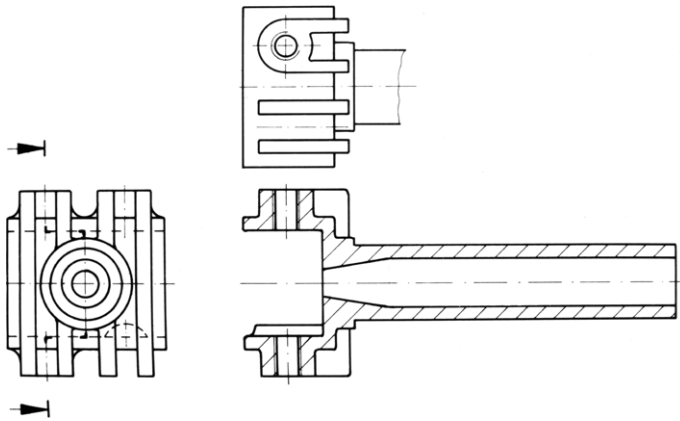
Erst kopieren, dann kopieren. [Hesse]

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

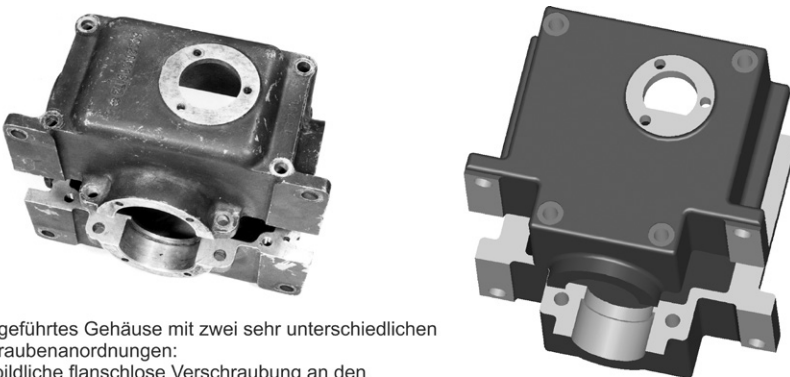


**Bild 1.3** Meißelhalter für Drehautomat

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



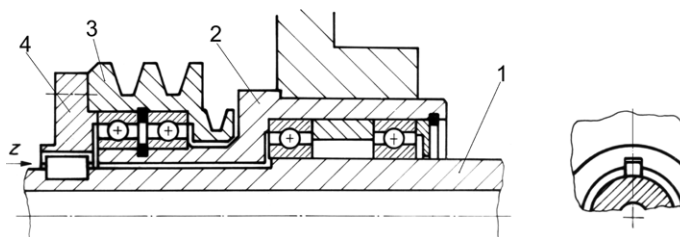
**Bild 1.4** Meißelhalter 2 - Feigussteil mit herabgesetzter Wanddicke, Verrippung und hohlem Schaft. Die Möglichkeiten des Gießens wurden besser genutzt, und die Bauteilmasse wurde verringert.



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

Änderungsvorschlag: Erläuterung im Text

**Bild 1.5** Gehäuse für Kegelradgetriebe (Al-Guss)



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

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



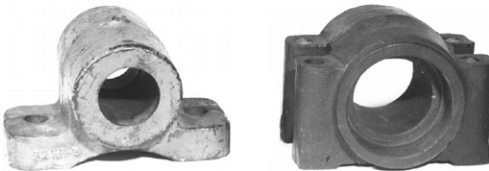
**Bild 1.7**  
Passfeder mit Verschleißerscheinung



### Aufgabe 1.1

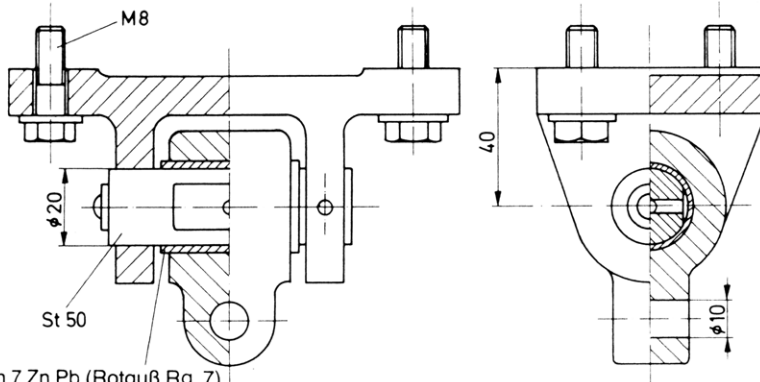
Wie entsteht dieses Verschleißbild an der Passfeder? Hinweis: Es dürfen weitere Fehler/Mängel der Konstruktion in Bild 1.6 gefunden werden.

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



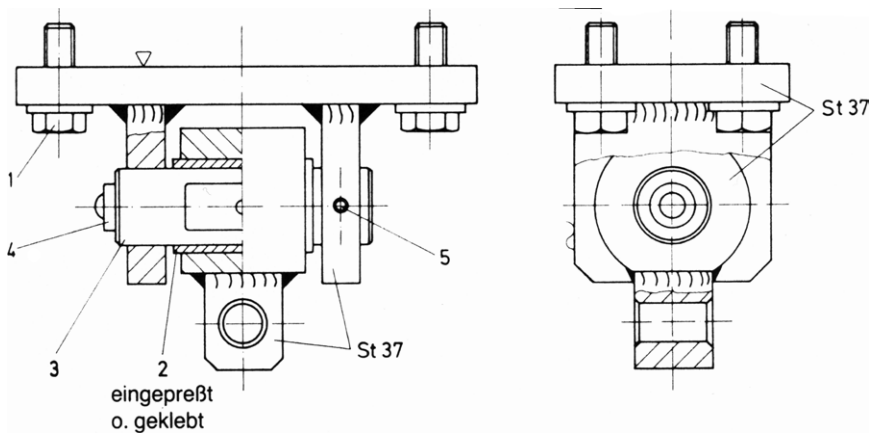
**Bild 1.8** Lagerböcke. Links ausgeprägte Fußflansche, Biegung wird durch Wanddicke beherrscht (Baujahr 1920); rechts zweckmäßige Gestalt (auch für abhebende Beanspruchung geeignet)

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



G-Cu Sn 7 Zn Pb (Rotguß Rg 7)

**Bild 1.9** Hängelager in Gussausführung [4]



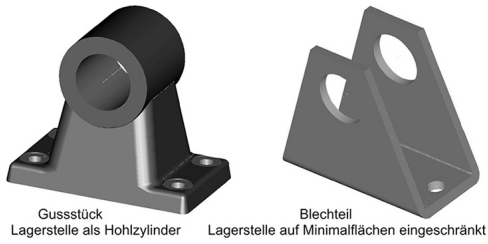
**Bild 1.10** Hängelager in geschweißter Ausführung [4]



### Aufgabe 1.2

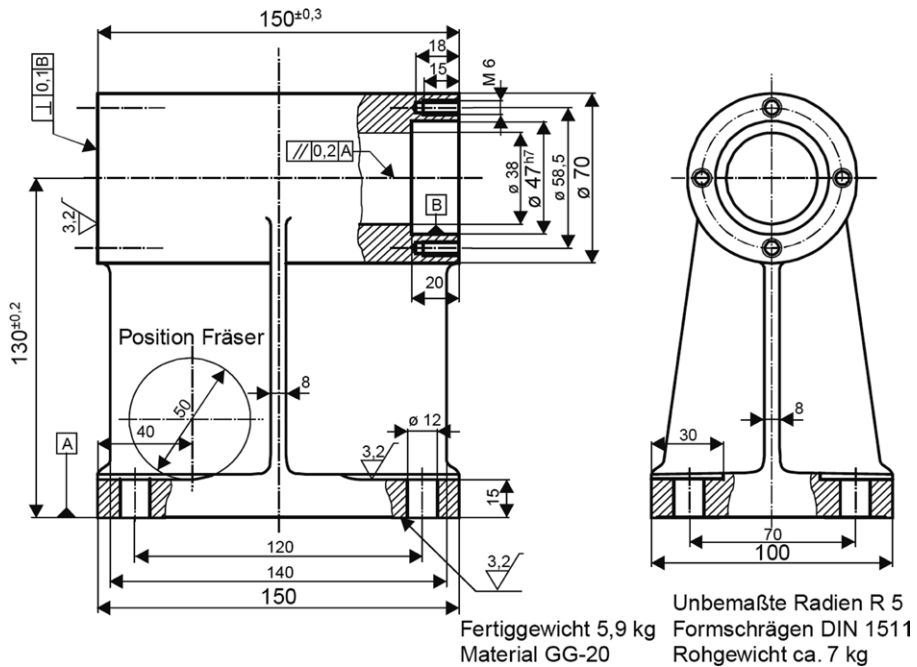
Es ist eine günstigere Gestalt des Lagerkörpers für jede Ausführung vorzuschlagen und insbesondere die geschweißte Ausführung einer kritischen Betrachtung zu unterziehen.

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

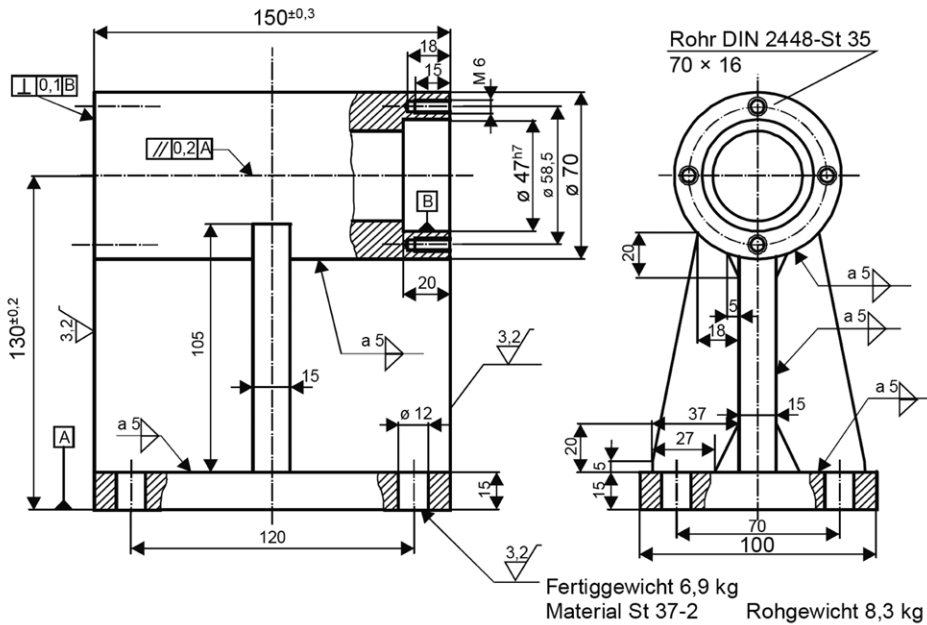


**Bild 1.11** Lagerböcke mit unterschiedlichen Ausführungen des Lagerauges

So werden z.B. in [15] ein Gusslagerbock (Bild 1.12) und ein geschweißter Lagerbock (Bild 1.13) bei unveränderter Grundgestalt zum Zweck des Kostenvergleichs betrachtet.



**Bild 1.12** Lagerbock in Gussausführung [15])



**Bild 1.13** Lagerbock in Schweißausführung [15]

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



### Aufgabe 1.3

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

Zusammenfassend darf festgestellt werden:

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

# Index

## A

- Abdeckung 66, 143, 218, 279
- Abführen 138
- Ablesen 290
- Abriebstoff 155
- Abschirmen 138
- Abspritzen 138
- Abstand 149, 159, 219
- Abstand minimaler 98, 101, 158
- Abstandselement 43
- Abweisen 138
- Achsbolzenbefestigung 172
- Achse 13, 18, 40, 154, 300
- Allwetterbeständigkeit 250
- Analyse 157
- Analysegesichtspunkt 6
- Anguss 64, 66, 67
- Anhänger 209, 262
- Anlagenbaugruppe 217
- Anpassungsrippe 64, 68
- Anpressung 140, 176
- Ansatz mathematischer 190
- Antriebsaggregat 218
- Antriebseinheit 116, 300
- Arbeitsbühne 286
- Arbeitsschutz 283
- Arbeitszylinder 57, 104
- Architektur 207
- Armierungsbauweise 44, 102, 190
- Aufblasdruck 83
- Auffangen 138
- Aufwandsminimierung 302
- Aufweiten 85, 134
- Augenschraube 180, 286
- auskragend 285
- Ausleger 211, 215, 236
- Auslegerhubgetriebe 215
- Ausrückgabel 107
- Ausschwingkurve 240
- Außenkern 50, 55
- Aussteifung 228, 257
- Auswerfer 49, 60
- Auswerferstift 61
- Autokran-Cockpit 288
- Axialbewegung 149, 154
- Axialsicherung 39, 157, 195, 196

## B

- Baggerausleger 230
- Ballengriff 292
- Bauart 115, 189, 190, 222, 229
- Baugröße 17, 28, 105, 143, 189, 201, 225, 239
- Baugrößenentscheidend 118
- Baugruppe 50, 87, 97, 117, 190, 204, 213, 214, 216, 217, 254, 266, 270, 272, 273
- Baugruppengestaltung 214, 301
- Bauhaus-Bewegung 207
- Baukasten 231, 232, 251, 271
- Baukörper 97, 109, 110, 111, 112, 252, 276
- Baukörper originäre 258
- Bauteil pulvermetallurgische 59
- Bauraum 104, 118, 167, 270
- Bauraum minimaler 97, 105, 114, 157
- Bauschlosserdesign 282





Doppelschraubvorrichtung 99  
Draht 33, 111  
Drehen 94, 116, 201, 220, 293  
Drehmaschinenhauptspindel 175  
Dreistellungsschalter 290  
Drillingsmaschine 204  
Drosseln 138  
Druckguss 45, 49, 57  
Druckgussteil 192, 249  
Druckluftübertragung 274  
Druckluftzylinder 80, 105  
Druckschraube 112  
Dünublech 225, 251  
Dünublechbereich 181  
Dünublechgestell 250  
Dünublechteil 32, 192  
Durchsetzfugen 198

## E

Ecknaht 183  
Eckstoß 182, 183  
Eckverband 169  
Eigenschaft 2, 46, 73  
Einfallstelle 63, 65, 66, 84  
Eingießteil 192, 239, 252  
Einhaken 192, 197  
Einsatzschichten 188  
Einspreizen 192  
Einstellen 176, 219  
Einstückbauweise 41  
Einstückvariante 11, 112  
Elastizität 40, 125  
Elektrodenarm 184, 185  
Elektromaschinenbau 76  
Elektronen-Strahlschmelzen 88  
Energieführungskette 261, 272  
Entformen 57, 65, 245  
Entformschräge 49, 225, 245  
Erfinden 17  
Erprobung 302, 303  
Erscheinungsbild 184, 205, 207, 221,  
247, 254, 262, 279, 282, 287, 299  
Ersterprobung 149  
Extrusionsblasformen 83

## F

Fahrradbremshelbel 41  
Fahrwerk 87, 181, 275, 276  
Faltenbildung 122  
Faltkonstruktion 228  
Fanglabyrinthdichtung 138  
Fangrille 136  
Farbgestaltung 263, 295  
Farbkodierung 297  
Fase 102, 246  
Faser-Kunststoff-Verbund 72, 76, 263  
Feder 116, 126  
Federaufnahme 109  
Feinbearbeitungsmaschine 116  
Feinblech beulstrukturiert 120  
Feinblech strukturiert 120  
Feinblech walzstrukturiert 120  
Feindrehmaschine 116, 128, 257, 294  
Feingestaltung 252, 267, 276, 281, 299  
Feingewinde 152, 219, 243  
Feingewindeschraube 149  
Feinguss 224  
Feinschneidteil 83  
Feinzustellmeißelhalter 128  
FEM-Optimierung 77  
Fertigteil 23, 77  
Fertigung additive 88  
fertigungsgerechtes Gestalten 23  
Fertigungsmenge 17, 75, 95, 133, 143,  
165, 189, 243, 263, 269  
Fertigungsspezialist 50, 303  
Fertigungsverfahren 17, 28, 33, 77  
Fertigungsverfahren additive 88  
Festigkeitsklasse 173  
Filmscharnier 62, 125  
Filzringdichtung 135  
FKV-Bauweise 250  
FKV-Eigenschaften 74  
Flachdichtung 139  
Fläche 46, 140  
Flächenbedarf minimaler 114, 118  
Flachpassung 68  
Flachriemenvorgelege 13, 301  
Flachschleifmaschine 204  
Flachzylinder 105

- Flansch 142, 146, 184, 213, 248, 265, 276  
Flanschlager 199, 243  
Flanschproblem 4  
Flanschverschraubung 4, 180  
Fließpressteil 80  
Fließspandrehbank 202  
Flügelmutter 286  
Fördergurttrommel 133  
Formänderung 123  
Formanlage 289  
Formblock 203  
Formkasten 289  
Formkonglomerat 209, 260  
Formschluss 70, 94, 162, 163, 242  
Formschräge 63  
Formstoffpressling 203  
Formteil 49, 57, 62, 65, 73  
Formteilmgestaltung 48, 57  
Formteilung 15, 51, 203  
Fräsen 242, 251  
Fräsmaschinengestell 244  
Freizügigkeit 75, 250  
Frontplatte 300  
Fuge 263, 265  
Fügen 34, 45, 163, 189  
Fugengestaltung 265  
Fügeoperation 41, 165  
Fügeverfahren 24, 161  
Fügevorgang 112, 172, 198  
Führungsmaschine 184  
Funktionsgruppe 213, 214, 254  
Funktionsintegration 37, 62, 125, 189, 223  
Funktionsprinzip 10  
Fuß 232  
Fußflansch 6  
Fußgestaltung 196  
FVK 72
- G**
- Gasinjektion 62, 84  
Gebrauchsspur 277, 298  
Gefahr 151, 179, 277  
Gehäuseverschraubung 266  
Geländer 283  
Gelenkbolzen 155  
Gelenkgabel 11  
Genauigkeitsfläche 242  
Generatorwelle 132  
Gesamtmaschine 204, 214, 301  
Gesenschmiedestück 29, 49, 77  
Gesenschmiedeteil 119  
Gestalt 10, 24, 34, 75, 199  
Gestalten 30  
Gestalten fertigungsgerecht 97  
Gestalten kraftgerecht 20, 106, 143, 223  
Gestaltung 7, 23, 49, 253, 286, 287  
Gestaltung fertigungsgerechte 204, 269  
Gestaltung kraftgerechte 30, 151  
Gestaltungsfreiheit 91  
Gestaltungsregel 63, 90, 134, 144, 167, 190, 223, 288, 302  
Gestaltungsziel 89  
Gestell 238, 265  
Gestellkonzept 214  
Getriebegehäuse 31, 39, 71, 144, 221, 258  
Gewebestruktur 75  
Gewinde 32, 145, 167, 168, 171, 176, 192  
Gewindeanker 239, 247, 248  
Gewindeanwendung 168  
Gewindebolzen 171  
Gewindeflanke 171, 175  
Gewindering 174  
Gießform 15, 238  
Gießkern 104  
Glattwalzen 45, 46  
Gleitbuchse 149, 159  
Gleitlagerstelle 146  
Gleitscheibe 149, 158  
Grafik 290, 295  
Granit 1, 234, 238, 249, 252  
Greifbereich 291  
Greifer 103, 104  
Greifvolumen 292  
Griffkugel 292

Griffumfeld 293, 294  
Großteil 119, 201, 216, 221, 223, 248,  
251, 301  
Grundmaschine 204  
Grundplatte 15, 106, 162, 235, 252  
Grundrahmen 226  
Gussrundung 54, 247  
Gussstückgestaltung fertigungsgerechte  
224

## H

Hakenmaschine 216  
Hakenschrauben 145  
Haltegriff 283  
Hand 286, 291, 292  
Handdrehachse 104  
Handhabung 297  
Handlauf 284  
Hängelager 7, 20  
Hängetragwerk 222  
Haspelmaschine 213  
Haushaltnähmaschine 213  
Hebel 41, 55, 119, 128, 153, 162, 292,  
293  
Hinterschnitt 68, 79, 225, 245  
Hinterschnittbeherrschung 63  
Hochdruckventilgehäuse 78  
Hohl-guss 55  
Hohlkörper 53, 83, 134  
Hohlprofil 55, 147, 148, 169, 178  
Hohlwelle 22, 38, 92, 132, 153  
Hohlzapfen 192  
Hohlzapfennietung 195  
Holzform 242, 246  
Hülle optische 260, 263  
Hydraulikleitung 275  
Hydraulikpumpe 215

## I

IHU 49, 84, 230, 251, 302  
IHU-Formenwelt 86  
Innenhochdruckumformen 49, 84, 87  
Innentür 184, 185

## J

Jugendstil 256  
Justierbewegung 179, 220  
Justiereinrichtung 219  
Justieren 148, 152, 162, 174, 214, 219  
Justiervorgang 174, 243

## K

Kabelclip 67  
Kabelschleppeinrichtung 272  
Kabeltrommel 272  
Kaffeemaschine 62, 68, 72  
Kalibrieren 46  
Kaltverfestigung 123  
Kantenrundung 102  
Karosseriefertigung 87, 185  
kaschieren 63, 66  
Kästen 147  
Kasten morphologischer 205, 206  
Kastenprofil 146, 178, 179  
Kastenschloss 126, 292  
Kegelgriff 286  
Keilfläche 152  
Keilprofil 152, 159  
Keilriemenscheibe 6, 156  
Keilriemenscheibe biegeentlastet 5  
Keilverbindung 162  
Kern 15, 66, 85  
Kern (bei Sandguss) 51  
Kerneinlegestation 289  
kernlos 53, 109  
Kern verlorener 242  
Kettenrad 103, 191  
Kettensäge 84  
Kippbelastung 157  
Klappe 247, 263, 266, 286  
Klebeband-Rollenhalter 68  
Kleinbetonmischer 108  
Kleinmaschine 213, 222, 249, 252, 254  
Klemmeinrichtung 18, 127  
Klemmen 170, 293, 294  
Klemmkopf 113  
Klemmlappen 195

Klinke 13  
K-Naht 181  
Knetmaschine 218  
Kniehebeleffekt 155, 156  
Kokillenguss 49, 57  
Kolbenbaugruppe 172  
Kolbenkompressor 37, 38  
Kompaktbauweise 217  
Konstrukturausbildung 62, 97, 111, 144,  
151, 207, 215, 270, 295  
Konstruktionszeichnung 157  
Kontaktwissen 207, 252, 299  
Koordinatenmessgerät 245, 248  
Körperbewegung 287  
Körperhaltung 288  
Körpermaße 287  
Kosten 28, 45, 50, 164, 191, 242, 247  
Kostendenken 24  
Kosteneinfluss 24, 64, 67  
Kostenminimierung 302  
kraftgerechtes Gestalten 33  
Kraftleitung 10, 181, 187, 251  
Kraftschluss 163  
Kraftwirkung 143, 223  
Krag 71  
Kragträger 155  
Kragwerk 222  
Kreiselpumpe 110  
Kreiskolbengebläse 133  
Kreuzgelenk 191  
Kreuztisch 237  
Kriechgang 283  
Kugellager 36, 99, 103, 156, 159, 211  
Kühlmittel 117, 241, 263, 300  
Kühlmittelablauf 117, 240  
Kühlschmierstoff 137  
Kühlwasserrinne 241, 247  
Kunst 164  
Kunststoff 13, 62, 110, 192, 249, 252  
Kunststoff-Formteil 62, 65  
Kunststoff-Metall-Verbund 62, 69, 252  
Kunststoff-Spreizdübel 169  
Kunststoffspritzguss 60, 63  
Kunststoffverkleidung 66  
Kupplung 116, 119, 170, 216

Kupplungsbelag 114  
Kurbel 44, 293  
Kurbeltrieb 294  
Kurbelwelle 38

## L

Labyrinthdichtung 136  
Lageabweichung 173  
Lager angestellte 174  
Lagerbock 6, 15, 52, 243  
Lagerböckchen 127  
Lagesicherung 131  
Lamellenbauweise 48, 118, 119, 229  
Lamellenkupplung 119, 153  
Lampenträger 75  
Landmaschine 4, 109, 131, 179, 191, 207,  
259, 294  
Längstaktmaschinen 116  
Langzeitprüfmaschine 284  
Lappenrundung 197  
Lasernaht 181  
Laserschnitt 28, 183  
Laserschnittfläche 277  
Laserschweißen 180  
Laser-Sintern 88  
Laser-Strahlschmelzen 88  
Lasthaken 211  
Leichtbaubrücke 250  
Leichtbauweise 43, 94, 224  
Lichtschalter 292  
Linearführung 232, 236  
Lochbild 297  
Lochung zusätzlich 85  
Lockern 173  
LOM-Technik 119, 120  
Luftführung 232  
Luftleitblech 130  
Lünette 257

## M

Machbarkeitsanalyse 88, 303  
Mähbinder 131  
Makroelement 254, 276, 282

Maschinenaufstellung 116  
Maschinendesign 17, 55, 165, 167, 201,  
205, 207, 252, 299  
Maschinengestell 48, 119, 213, 217, 234,  
247, 248  
Maschinenhalle 116  
Maschinenjustierung 153  
Maschinensteuerung 2  
Maße formgebunden 61  
Maße nicht formgebunden 62  
Massivschnapper 194  
Materialanhäufung 240  
Mehrfarbigkeit 298  
Mehrspindelbohrkopf 98  
Mehrspindel- Stangendrehautomat 115  
Mehrwandbauweise 228, 229  
Membranfederführung 128  
Messerschleifmaschine 285  
MIG-Schweißen 188  
Mikroelement 254, 276, 282  
Mineralguss 192, 227, 235, 238, 252,  
272, 303  
Mineralgussgestell 238  
Minimalelement 105  
Minimalfläche 8  
Minimalkörper 106  
Minimalmaß 104, 117, 118  
Mischbauweise 224, 229, 251  
Mischertrommel 37  
Modell 23, 50, 54, 147, 225, 299  
Modellteilung 15  
Momentenbelastung 103, 156, 159  
Monotonie 209, 298  
Montage automatische 188  
Montage automatisiert 199  
Montageflächen 243  
Montage manuelle 166, 188  
Montageplatz 208, 231  
Montagepresse 18  
Montageprozess 214  
Multi-Layer-Technik 119  
Musterbauteam 302  
Mustererprobung 246  
Mutterformen 145

**N**

Nabe 79, 159, 191  
Nadellager 103  
Nebenformelement 120  
Nibbelmaschine 120  
Nieten 47, 192, 196  
Nietzapfen 192, 196  
Nockenwelle 134  
Noppenblech 120  
Nutmutter 174, 176

**O**

O-Anordnung 174  
Oberflächengestaltung 254  
Öffnung hinterschnittfrei 57  
Ölbohrung 120  
Ölstand 136  
optimal 109, 115, 130, 161, 229, 246, 251,  
255, 283  
Optimierung 38, 77  
Outsert 48, 69, 125, 252  
Outsertelement 70  
Outsert-Platine 69  
Outserttechnik 249

**P**

Parallelfederführung 128  
Passfeder 6, 20, 36, 39  
Passstück 130  
Passung spielfrei 64  
Pendelgleitlager 131  
Pflanzmaschine 208  
Pflug 110  
Phosphatbeschichtung 188  
Planetengetriebe 103  
Platine 120, 184  
Pleuel 40, 80, 130  
Pleuelbohrung 130  
Polymerwerkstoff 249, 252  
Portalbauart 233  
Präzisionsgewinde 171  
Pressenmaul 230

Pressform 169  
Produktgrafik 254, 295  
Profilbauweise 251  
Profile offene 147  
Profilwelle 152  
Prototyp 2  
Prototypenbau 88  
Prototypenguss 246  
Prototypenphase 241  
Prototypentwicklung 303  
Pulverspritzguss 57, 59

## Q

Querbohrung 154, 236  
Querlenker 78, 80  
Quetschen 192, 293, 294  
Quetschnietung 196, 197

## R

Rad 232, 262  
Radialbohrmaschine 215, 261  
Rahmen 87, 268, 282  
Rapid Prototyping 88  
Rastelement 126  
Raumbedarf minimaler 98  
Rechtwinkligkeit 176  
Reibkraft 151  
Reibschweißverbindung 134  
Reibstelle 154  
Reibung 149, 151, 155  
Reibwert 151, 155  
Reitstock 18, 214, 293  
Relativkosten 28, 29  
Relativkostendarstellung 166  
Renkverbindung 162, 163, 192  
Revolverkopf 4, 25, 143  
Rheometer 249  
Riegel 126, 282  
Riemenscheibe 37  
Ring aufgeschumpft 176  
Ringschrauben 216  
Ringspannscheibe 118  
Ringzacke 81

Rippe 51, 56, 72, 112, 221, 241, 257, 267,  
276, 277, 280  
Rippendicke 65  
Rippenguss 55, 56  
Rippenversteifung 71, 72  
Ritzelwelle 42, 77  
Rohling 77, 79  
Rohrkonstruktion 226  
Rohteilform 85  
Rollenhebellagerung 174  
Rückfördern 138  
Rückstellfeder 162  
Rumpfmachine 247  
Rundkneten 92, 135  
Rundnaht 183  
Rundstahl 111, 178  
Rundstahlbügel 113, 177, 179  
Rundstahlbügelvariante 178  
Rundtaktmaschine 115, 117, 212, 231,  
268  
Rundung 54, 179, 246  
Rutschsicherung 284

## S

Sammeleinrichtung 114  
Sandguss 49, 203, 245  
Sargdeckel 259  
Schaltelement 277, 281, 290, 291  
Schaltklinkenfreilauf 189  
Schaltwellenlagerung 151  
Scheibenbremse 129  
Schelle 41  
Schichtbauweise 120  
Schieberad 152  
Schiebetürsicherung 281  
Schlauchausführung 274  
Schlauchkupplung 170  
Schlauchschelle 111  
Schleifkraft 300  
Schleifpaste 173  
Schlitten 117, 150, 156, 247, 250, 273,  
300  
Schmalspurlokomotive 282  
Schmierölgren 271

- Schmutzanfall 56
- Schmutzecke 56, 210, 265, 267, 280
- Schnappelement 125
- Schnappkontur 65
- Schnappverbindung 62, 125, 192, 193, 210, 278
- Schnappverschluss 67
- Schnecke 47
- Schneckenrad 38
- Schneidkeramik 127
- Schnittfläche 82, 277
- Schott 178
- Schrägbettmaschine 201, 203, 248
- Schraubbauweise 231, 232, 251
- Schraubbügel 177, 178
- Schraube 41, 101, 112, 140, 156, 166, 277, 278
- Schraubenverbindung 127, 146, 163, 164, 166, 168
- Schraubenvorspannung 156
- Schraube unverlierbar 286
- Schraubzwinge 150
- Schraubzwingeneffekt 151
- Schubladeneffekt 150, 151
- Schubstange 149
- Schutzbalg 42
- Schutzbügel 84
- Schutzelement 127
- Schutzhaube 232, 260, 263, 267, 281
- Schwachstelle 104
- Schweißelektroden 185
- Schweißgruppe 9, 22
- Schweißkonstruktion 7, 9, 21, 48, 78, 132, 231, 267, 280
- Schweißkopf 185
- Schweißspalt 182, 183
- Schweißvorrichtung 183, 187
- Schwingsteifigkeit 122
- Schwingungsbeeinflussung 116
- Sechskantfuß 263
- Segmentierung 118
- Seilwinde 294
- Seitenschieber 50, 57, 59, 63, 65
- Sektflasche 111, 112
- Selbstsperrung 151
- Senkrechtmaschine 115
- Serienfertigung 4, 24, 108, 213, 223, 230
- Sessellift 179
- Sicherungsblech 174
- Sicherungsmutter 176
- Sicherungsring 20, 22, 101
- Sicherungsstifte 176
- Sicherungswirkung 170, 172, 173, 177
- Sichtschraube 279
- Sickenversteifung 63, 280
- Sinterschmiedeleuel 130
- Sinterteil 59
- Sitzarbeitsplatz 287, 288
- Sitzposition 208
- Spalt 136, 156, 184
- Spannbacke 127
- Spannbackengestaltung 183
- Spannband 177, 280
- Spannen 45, 118, 129, 149
- Spannkräfte 144
- Spannlager 192
- Spannungszustand 81
- Spannvorrichtung 149, 180, 184
- Spannweg 127
- Spezialantriebsrad 131
- Spiegel 30, 75, 129, 136
- Spindelkasten 142, 214, 257
- Spreizen 220
- Spreizmutter 40, 195
- Sprengen 131
- Spritzschutzhaube 267
- Spritzschutztür 258, 280
- Stahlform 242
- Standardprodukt 138
- Ständer 48, 234, 236, 252, 273
- Ständerbohrmaschine 259
- Stanzlasche 192
- Stanzmaschine 26
- Staplermaschine 216
- Steckdose 210
- Steg 60, 130, 221
- Stehlager 27, 95, 262
- Steighilfe 286
- Stelleinrichtung 152



Stellkeil 153  
Stiftschraube 169  
Stirnlauf 176  
Stirnlauftoleranz 175, 176  
Stirnnietung 195  
Stoffschluss 163  
Stopfen 112  
Strangprofil 178, 231, 232, 251, 270, 271  
Straßenbahn-Bug 76  
Strömungskupplung 189, 190  
Strukturhöhe 122  
Strukturierungshöhe 124  
Strukturierungsmuster 124  
Strukturierungsverfahren 120  
Stützkörper 110  
Stützschraube 149  
Systemlösung 247, 252, 253

## T

Tankbefestigung 281  
Technisches Design 205  
Teilebene 53  
Teilefertigung 10, 24, 119, 165, 201  
Teilfuge 49, 266  
Teilung 130, 131  
Tellerrad 103, 104, 108  
Tiefbohrtechnik 120  
Tischplatte 237  
Toleranzklassen 171  
Torsion 30, 55, 71, 87, 147  
Torsionsbeanspruchung 227  
Torsionsbelastung 234  
Träger 30, 87, 109, 210, 269  
Tragwerk 39, 119, 179, 221, 222, 223, 231, 251, 271, 303  
Tragwerksbauweise 251  
Transport 48, 216, 268  
Transportöse 268  
Trennschalter 98  
Türklinke 292

## U

Überlappstoß 182, 183  
Überlappung 183, 186  
Umformvermögen 122  
Umlenken 138  
Umlenkstützlager 9  
Unfallgefahr 167  
ungeteilt 51, 54  
Untergießen 222, 243  
Urformen 34, 45, 163, 190

## V

Variantenbildung 10  
Varianteneinschränkung 10, 17  
Verbindung 18, 33, 70, 111, 194, 265  
Verbindung geschraubte 168  
Verbindungselement 162, 192, 232  
Verbindungsflansch 63, 144, 265  
Verdrehlappen 198  
Verdrehsicherung 195  
Verformung 130, 144, 145, 149, 155, 192  
Verpackung 254, 300  
Verschiebbarkeit 152  
Verschlusshebel 293  
Verschlussstopfen 120  
Verschmutzung 155, 179, 298  
Verstärkung 185  
Versteifung 148  
Versteifungen laminiert 76  
Versteifungsrippe 51, 63, 71  
Verwölbung 148  
Vollkörper 106, 107  
Vorrichtungskörper 145

## W

Wabenblech 120  
Wälzföhrung 150  
Wälzlager 13, 44, 100, 101, 156, 175, 196  
Wälzlagerung 44, 102, 174  
Walzwerkgetriebe 98, 100  
Wandbauweise 227, 251

Wanddicke 4, 23, 29, 60, 65, 105, 109  
Wanddicke minimal gießbare 29  
Wanddickenübergang 65  
Wandkonsole 52, 53  
Wandtragwerk 222  
Wärmeübertragung 124  
Warnung 19  
Wassermühle 131  
Wasserpumpe 44  
Wasserpumpengehäuse 55  
Wasserstrahlschneiden 21, 128  
Wasserstrahlschnitt 183  
Wegwerfausführung 58  
Wellendichtung 135  
Werkstoffanhäufung 63, 65  
Werkstoffverhalten anisotrop 73  
Werkzeugkonstrukteur 64, 66  
Wickelmaschine 298  
Widerstandspunktschweißen 181, 184,  
185  
Winkelhebel 119, 153  
Winkelschleifer 249  
Wirkfläche 13, 31, 44, 90, 97, 107, 109

Wirrwarr 270, 297  
Wölbung 4, 75  
Wow-Effekt 209, 287, 299

## X

X-Anordnung 174  
X-Naht 181, 184

## Z

Zahnrad 77, 99, 157, 159  
Zeichen ikonische 296  
Zeichen symbolische 290, 295  
Zierrippe 63  
Zuganker 18, 228, 233  
Zugankerbauweise 233, 251  
Zugkraftverlust 124  
Zulieferer 25, 76, 251, 253, 262, 269  
Zweifarbigekeit 298  
Zwillingsmaschine 204, 300  
Zwischenrad 157  
Zylinder 48, 105