

HANSER



Leseprobe

zu

„Grundlagen der Konstruktion“

von Werner Krause

ISBN (Buch): 978-3-446-45470-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-45569-6

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45470-5>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das Erzeugnisspektrum in Elektronik, Elektrotechnik, Feinwerktechnik und Mechatronik umfaßt Maschinen, Geräte und Anlagen für die Erzeugung, Übertragung und Anwendung von Elektroenergie sowie die informationsübertragenden Baugruppen, Geräte und Anlagen der Nachrichten-, Meß- und Automatisierungstechnik, der Datenverarbeitung und Rechentechnik sowie der Feinmechanik und Optik. Diese Erzeugnisse werden aus mechanischen, elektrischen, elektronischen und optischen Bauelementen und Funktionsgruppen aufgebaut. Das Spektrum reicht von hochkomplizierten Anlagen, vielfach in einmaliger Spezialausführung hergestellt, bis zu Produkten der Konsumgüterindustrie, deren hoher Bedarf meist nur durch Anwendung spezieller und ausgereifter Verfahren der Massenfertigung gedeckt werden kann.

Auf dem Gebiet der Elektrotechnik, z. B. im Elektromaschinenbau, steht dabei vielfach die Leistungsübertragung im Vordergrund, die mit möglichst hohem Wirkungsgrad erfolgen soll. In der Elektronik und Feinwerktechnik dagegen müssen vorwiegend Informationen der verschiedensten Art erfaßt, gespeichert, verarbeitet oder zur Aufnahme durch den Menschen aufbereitet werden, wobei hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und zugleich große Genauigkeiten z. B. bei der Einhaltung vorgegebener Übertragungsfunktionen erforderlich sind. Darüber hinaus wird bei allen Erzeugnissen dieser Fachgebiete gesteigerte Leistungsfähigkeit sowie erhöhte Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Umweltfreundlichkeit unter Wahrung wirtschaftlicher Aspekte gefordert. Die Tendenz geht dahin, die informationsverarbeitenden Funktionsgruppen unter Verwendung mikroelektronischer Bausteine zu realisieren und mechanische durch elektronische Prinzipie überall dort abzulösen, wo es funktionell und ökonomisch vorteilhaft ist. An der Geräteperipherie werden dagegen in zunehmendem Maße leistungsfähige mechanische und elektromechanische Baugruppen benötigt.

In der Konstruktion ist man bestrebt, durch eine sichere Beherrschung mechanischer Konstruktionselemente und mit Hilfe neuer konstruktiver Lösungen mit dieser Entwicklung Schritt zu halten. Deshalb müssen sowohl Ingenieure für Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Informationstechnik, elektronische Bauelemente und Informationsverarbeitung als auch Betriebswirtschaftler, Arbeitswissenschaftler und Berufspädagogen ebenso wie die Konstrukteure und Technologen der Elektronik, Elektrotechnik, Feinwerktechnik und Mechatronik im Studium eine vertiefte Konstruktionsausbildung erhalten. Sie soll dazu befähigen, Maschinen, Geräte und Anlagen schnell verstehen, mitentwickeln, aufbauen und anwenden zu können.

Seit seinem Erscheinen hat das Lehrbuch in Lehre und Praxis ein weithin positives Echo gefunden, so daß auch die 6. Auflage in kurzer Zeit vergriffen war. Dieser Umstand erklärt sich aus der Tatsache, daß das Buch auf die Grundstudienpläne der Studiengänge Elektrotechnik und Mechatronik zugeschnitten ist und damit den Bedürfnissen der Hoch- und Fachhochschulausbildung vieler Studenten dieser Studiengänge und angrenzender Studienrichtungen unmittelbar entspricht. Es wird an vielen Bildungseinrichtungen im Zusammenhang mit der notwendigen effektiveren Gestaltung von Vorlesungen und Übungen genutzt und ist zugleich zur Intensivierung des Selbststudiums gut geeignet.

Ein weiterer Grund für die anhaltende Nachfrage ist aber sicherlich darin zu suchen, daß die übersichtliche und z. T. katalogartige Aufbereitung des Stoffes sowie die zahlreichen tabellarisch geordneten Fakten auch dem in der Praxis tätigen Ingenieur als Orientierung und Wissensspeicher dienen.

Da für datenintensive und wiederkehrende Routinearbeiten verstärkt Rechentechnik zum Einsatz kommt, wurde bereits in der 6. Auflage ein Abschnitt zum rechnerunterstützten Konstruieren (CAD) aufgenommen und außerdem das automatisierungsgerechte Gestalten von Konstruktionselementen berücksichtigt. Weitere Erkenntnisse zur Systematisierung dieser Elemente zwangen dazu, die Gebiete der mechanischen Verbindungselemente und -verfahren sowie der Lager neu und damit eindeutiger als bisher zu ordnen.

In der 7. Auflage fanden zudem jüngste Ergebnisse der internationalen Normung z. B. auf dem Gebiet der Toleranzen und Passungen sowie Fortschritte bei der Dimensionierung und Tragfähigkeitsberechnung von mechanischen Verbindungen und Funktionselementen, u. a. von Zahnrädern, Berücksichtigung. Die Literaturangaben wurden generell erneuert; dank vielfältiger Lehrerfahrungen gelang es, eine Reihe von Ergänzungen und methodisch verbesserten Darstellungen einzuarbeiten, so daß die Ausführungen dem neuesten Stand der Technik und den Erfordernissen einer modernen Ausbildung entsprechen.

Diese 7. Auflage trug vor allem aber auch den Bedingungen Rechnung, die sich aus der 1990 vollzogenen Vereinigung Deutschlands ergaben und die nunmehr einheitliche Orientierung aller Stoffgebiete auf DIN- und DIN ISO-Normen sowie auf VDI/VDE-Richtlinien erforderte. In der 2002 erschienenen 8. Auflage erfolgten einige inhaltliche Erweiterungen, so unter anderem zum rechnerunterstützten Konstruieren und Simultaneous Engineering, zur Outsert-Technik, zu Federlagern und zu Zahnriemengetrieben. Sie war nun ebenfalls vergriffen, so daß sich Verlag und Herausgeber im Jahr 2012 zu einer vollständig überarbeiteten 9. Auflage entschlossen hatten. Dabei wurden das Kapitel zum konstruktiven Entwicklungsprozeß neu bearbeitet und alle weiteren Gebiete unter Beachtung der europäischen EN-Normen aktualisiert. Dies führte bei den Werkstoffangaben, bei Löt- und Klebverbindungen sowie bei Federn, Gleitlagern und Zahnrädern zu wesentlichen inhaltlichen Veränderungen. Aber auch die Ausführungen zu einer ganzen Reihe von Verbindungselementen und zu Zahnriemengetrieben waren an diese Normen anzupassen. Darüber hinaus gelang es, dank vielfältiger Erfahrungen beim Einsatz des Buches in Lehre und Praxis sowie unter Beachtung neuer VDI/VDE-Richtlinien inhaltliche Ergänzungen zur Berechnung und Gestaltung von Konstruktionselementen einzuarbeiten. Zudem wurde das Literaturverzeichnis auf den aktuellen Stand gebracht.

Hochschullehrer regten außerdem an, den Untertitel auf die Mechatronik auszudehnen, da das Buch auch von Studenten dieser Ausbildungsrichtung gern genutzt wird, und einen Anhang zum Grundwissen des Technischen Zeichnens beizufügen mit dem Hinweis darauf, daß dieses Gebiet leider kaum noch in den Lehrplänen zu finden ist.

In der nunmehr vorliegenden 10., aktualisierten Auflage erfolgten inhaltliche Ergänzungen, wobei neue oder überarbeitete Normen und Richtlinien Berücksichtigung fanden, so unter anderem bei der Kennzeichnung der Oberflächenrauheit und der Beschriftung elektronischer Bauelemente. Leider wurden aber inzwischen auch seit Langem in der Feinwerktechnik geltende DIN-Normen zu Toleranzen und Passungen sowie zu Stirnradgetrieben der Feinwerktechnik zurückgezogen, ohne daß es Nachfolgedokumente gibt. Es war deshalb erforderlich, die zugehörigen Abschnitte diesen Änderungen anzupassen. Außerdem wurden eine Reihe von Bildern gemäß aktueller Regeln zum Technischen Zeichnen korrigiert sowie auch die Literaturangaben am Ende des Buches bezüglich neuer Auflagen bzw. neu erschienener Bücher nochmals überarbeitet.

Allen Autoren danke ich für die bewährte kollegiale Zusammenarbeit bei der Vorbereitung dieser 10. Auflage. Ihre schnelle Herausgabe konnte im Ergebnis vielfältiger Bemühungen des Carl Hanser Verlages erfolgen, dem mein besonderer Dank gilt.

Inhaltsverzeichnis

1	Der konstruktive Entwicklungsprozeß	13
1.1	Stellung der Konstruktion im Produktlebenszyklus	13
1.2	Ablauf und Methoden des Konstruierens	14
1.3	Rechnerunterstütztes Konstruieren – CAD	19
2	Grundlagen der Konstruktionsarbeit	23
2.1	Gestalten von Bauteilen	23
2.1.1	Gestaltungsgrundsätze	23
2.1.2	Festlegen der Bauteilgestalt	24
2.1.2.1	Bauteilform	24
2.1.2.2	Werkstoff und Herstellung	26
2.1.2.3	Bauteilzustand	26
2.1.3	Regeln, Prinzipien und Einflüsse	26
2.1.4	Arbeitsschritte beim Gestalten	30
2.2	Normzahlen und Normmaße	31
2.3	Toleranzen und Passungen	32
2.3.1	Toleranzen	32
2.3.2	Passungen	41
2.3.3	Maß- und Toleranzketten	46
2.3.3.1	Maximum-Minimum-Methode	47
2.3.3.2	Wahrscheinlichkeitstheoretische Methode	49
2.3.4	Toleranz- und passungsgerechtes Gestalten	50
2.4	Werkstoffwahl	51
2.5	Aufgaben und Lösungen zu Abschnitt 2	55
3	Statik und Festigkeitslehre	60
3.1	Einführung	60
3.2	Statik	60
3.2.1	Kräfte an starren Körpern	61
3.2.2	Ebenes zentrales Kraftsystem	63
3.2.3	Ebenes allgemeines Kraftsystem	64
3.2.4	Kräftepaar und Moment	65
3.2.5	Gleichgewichtsbedingungen	66
3.2.6	Standsicherheit	66
3.2.7	Bestimmung der Auflagergrößen (Auflagerreaktionen)	67
3.2.8	Schnittreaktionen	69
3.3	Festigkeitslehre	71
3.3.1	Grundbegriffe	71

3.3.2	Ermittlung der Nennspannungen	74
3.3.2.1	Beanspruchung durch Kräfte	74
3.3.2.2	Beanspruchung durch Momente	78
3.3.2.3	Zusammengesetzte Beanspruchung	83
3.3.3	Ermittlung der zulässigen Spannungen	84
3.3.3.1	Werkstoffkenngrößen	84
3.3.3.2	Festigkeitsnachweis	86
3.4	Aufgaben und Lösungen zu Abschnitt 3	87
4	Mechanische Verbindungselemente und -verfahren	91
4.1	Stoffschlüssige Verbindungen	91
4.1.1	Schweißverbindungen	91
4.1.2	Lötverbindungen	97
4.1.3	Klebverbindungen	101
4.1.4	Kittverbindungen	102
4.2	Formschlüssige Verbindungen	103
4.2.1	Nietverbindungen	103
4.2.2	Stift- und Keilverbindungen	106
4.2.3	Feder- und Profilwellenverbindungen	109
4.2.4	Verbindungen durch Bördeln, Sicken, Falzen, Einrollen, Lappen, Schränken und Blechsteppen	111
4.2.5	Spreizverbindungen	113
4.2.6	Einbettverbindungen	114
4.3	Kraftschlüssige Verbindungen	115
4.3.1	Preßverbindungen (Preßverbände)	115
4.3.2	Schraubenverbindungen	119
4.3.3	Klemmverbindungen	130
5	Elektrische Leitungsverbindungen	132
5.1	Funktion und Aufbau	132
5.2	Leitungselemente	132
5.3	Verbindungselemente und -verfahren	135
5.3.1	Stoffschlüssige Verbindungen	135
5.3.2	Kraftschlüssige Verbindungen	135
5.4	Verdrahtungen	137
5.4.1	Klassifikation	137
5.4.2	Kabelverdrahtung	137
5.4.3	Flachverdrahtung	138
5.4.4	Freiverdrahtung	139
5.5	Aufgaben und Lösungen zu den Abschnitten 4 und 5	143
6	Federn	147
6.1	Grundbegriffe, Federkennlinien	147
6.2	Federwerkstoffe	149
6.3	Berechnung der Einzelfeder	149
6.3.1	Grundlagen	149

6.3.2	Biegefedern	150
6.3.3	Torsionsfedern	154
6.4	Federsysteme	156
6.4.1	Reihenschaltung von Federn	156
6.4.2	Parallelschaltung von Federn	157
6.5	Tellerfedern	157
6.6	Gummifedern	158
6.7	Bimetallfedern (Thermobimetalle)	159
6.8	Aufgaben und Lösungen zu Abschnitt 6	161
7	Achsen und Wellen	163
7.1	Beanspruchungen	163
7.2	Entwurfsberechnung	163
7.2.1	Überschlägliche Bestimmung des Achsendurchmessers	163
7.2.2	Überschlägliche Bestimmung des Wellendurchmessers	164
7.3	Nachrechnung	164
7.3.1	Nachrechnung der vorhandenen Spannungen	165
7.3.2	Nachrechnung der Verformung	167
7.3.3	Schwingungsberechnung	168
7.4	Werkstoffwahl und konstruktive Gestaltung	170
7.5	Aufgaben und Lösungen zu Abschnitt 7	170
8	Lager	173
8.1	Gleitlager	174
8.1.1	Gleitreibung	174
8.1.2	Berechnung und Konstruktion der Gleitlager	176
8.1.2.1	Verschleißlager	176
8.1.2.2	Hydrodynamische Gleitlager	178
8.1.3	Werkstoffwahl	182
8.1.4	Schmierung	185
8.1.5	Sinterlager	187
8.1.6	Steinlager	188
8.1.7	Spitzenlager	188
8.1.8	Stoßsicherungen	190
8.2	Wälzlager	191
8.2.1	Rollreibung	191
8.2.2	Aufbau und Eigenschaften der Wälzlager	191
8.2.3	Ausführungsformen der Wälzlager und ihre Anwendung	194
8.2.4	Miniaturwälzlager	195
8.2.5	Berechnung der Wälzlager	196
8.2.6	Einbau von Wälzlagern	199
8.2.7	Schneidenlager	201
8.3	Federlager	203

9	Geradföhrungen	204
9.1	Gleitföhrungen	204
9.2	Wälzföhrungen	206
9.3	Federföhrungen	207
9.4	Aufgaben und Löslungen zu den Abschnitten 8 und 9	208
10	Kupplungen	211
10.1	Feste Kupplungen	211
10.2	Ausgleichskupplungen	212
10.3	Schaltkupplungen	217
10.3.1	Schaltbare Kupplungen	217
10.3.2	Selbstschaltende Kupplungen	221
10.4	Aufgaben und Löslungen zu Abschnitt 10	223
11	Zahnrad- und Zugmittelgetriebe	225
11.1	Einteilung der Getriebearten	225
11.2	Zahnradgetriebe – Übersicht	227
11.2.1	Einteilung nach der Gestellanordnung der Räder	227
11.2.2	Einteilung nach der Anzahl der Übersetzungsstufen	227
11.2.3	Einteilung nach Lage der Achsen und geometrischer Grundform der Radkörper	228
11.3	Zahnräder	229
11.3.1	Grundgesetze der Verzahnung	229
11.3.2	Bezeichnungen und Bestimmungsgrößen an Zahnradern	229
11.3.3	Profilformen	231
11.3.4	Stirnräder mit Evolventengeradverzahnung	231
11.3.4.1	Die Evolvente	231
11.3.4.2	Bezugsprofil und Verzahnungsgrößen	232
11.3.4.3	Eingriffsverhältnisse und Profilüberdeckung	233
11.3.4.4	Herstellung der Zahnräder	234
11.3.4.5	Unterschnitt und Grenzzähnezahl	235
11.3.4.6	Profilverschiebung	235
11.3.4.7	Verzahnungstoleranzen, Getriebepassungen	238
11.3.5	Stirnräder mit Evolventenschrägverzahnung	239
11.3.6	Tragfähigkeitsberechnung	241
11.3.6.1	Zahnkräfte	242
11.3.6.2	Entwurfsberechnung	242
11.3.6.3	Nachrechnung der Zahnfußtragfähigkeit	243
11.3.6.4	Nachrechnung der Zahnflankentragfähigkeit	245
11.3.6.5	Berechnung von Kunststoffzahnradern	247
11.3.7	Werkstoffwahl	248
11.3.8	Konstruktive Gestaltung und Schmierung	249
11.4	Bauformen der Zahnradgetriebe	252
11.4.1	Stirnradgetriebe	252
11.4.2	Kegelradgetriebe	254

11.4.3	Schneckengetriebe	255
11.4.4	Schraubenstirnradgetriebe	255
11.5	Zugmittelgetriebe	256
11.5.1	Zugmittelgetriebe mit Kraftpaarung (Schnur-, Band-, Flachriemen- und Keilriemengetriebe)	257
11.5.2	Zugmittelgetriebe mit Formpaarung (Zahnriemen- und Kettengertriebe)	260
11.6	Aufgaben und Lösungen zu Abschnitt 11	263
 A Anhang Technisches Zeichnen		 267
A1	Aufbau und Bestandteile eines Zeichnungssatzes	269
A2	Projektionsarten und Anordnung von Ansichten	273
A3	Darstellung von Schnitten	275
A4	Allgemeine Richtlinien für die Bemaßung	280
A5	Bemaßung von Konstruktions- und Formelementen	287
A6	Stromlaufpläne	304
A7	Beschriftung elektronischer Bauelemente	309
A8	E-Reihen	315
 Literaturverzeichnis		 316
 Sachwörterverzeichnis		 322

9 Geradführungen

Geradführungen sichern eine geradlinige Bewegung von Bauteilen. Sie bestehen aus dem geführten Teil und einer Führungsbahn, zwischen denen Form- oder Kraftpaarung vorhanden sein muß. Man unterscheidet zwischen Gleitführungen (gleitende Reibung zwischen den Bauteilen) und Wälzführungen, bei denen die Bewegung durch Wälzkörper (Kugeln, Walzen usw.) oder durch drehbar gelagerte Rollen vermittelt wird. Für sehr kleine Schubbewegungen kommen auch Federn als Führungselemente zum Einsatz.

9.1 Gleitführungen

[3] [9.1] [9.2]

Die Art der Beweglichkeit des geführten Teils in der Führungsbahn ist von der Oberflächenbeschaffenheit der Gleitpartner, der verwendeten Passung sowie der Führungslänge abhängig. Die Oberflächenbeschaffenheit wird gekennzeichnet durch die Rauhtiefe Rz . Diese kann bei metallischen Werkstoffen etwa zwischen $20 \mu\text{m}$ (Führungen für geringe Ansprüche) und $0,1 \mu\text{m}$ (hochgenaue Präzisionsführungen) liegen. Die Passung ist im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Fertigung sowie wegen erwünschter Leichtgängigkeit und zur Aufnahme von Schmierstoffen so grob wie möglich zu wählen (Passungsauswahl nach Abschn. 2.3.2). In untergeordneten Fällen kann die Passung durch Einsatz federnder Elemente vermieden werden (elastische Bauweise, s. Bild 9.5), wobei sich i. allg. die Reibung vergrößert, die oft aber auch eine zusätzliche Sicherung gegen selbsttätiges Verstellen ermöglicht.

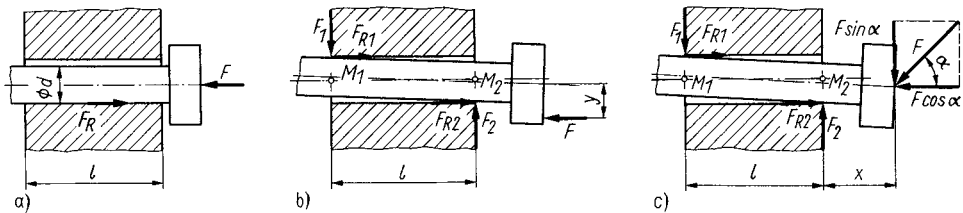


Bild 9.1 Kraftangriff bei Gleitführungen

a) mittig; b) außermittig; c) schräg

Berechnung. Die Bestimmung der Mindestführungslänge l_{\min} , die ein Verkanten eines nach **Bild 9.1** geführten Teils vermeiden soll, erfolgt in Abhängigkeit von der Lage des Angriffspunkts und der Richtung der Kraft F sowie zusätzlich vom Reibwert μ . Die Führungslänge l kann bei Vernachlässigung von d aus den Momentengleichungen um die Punkte M_1 und M_2 unter Beachtung der entstehenden Reibungs- und Auflagerkräfte ermittelt werden. Dabei sind drei Fälle des Kraftangriffs zu unterscheiden:

- Fällt die Richtung der Kraft mit der Führungsachse zusammen (Bild 9.1a), so tritt bei $F > F_R$ Gleiten ein, unabhängig von der Länge l der Führung.
- Bei parallel zur Führungsachse im Abstand y angreifender Kraft tritt bei Vernachlässigung von d entsprechend Bild 9.1b nur dann kein Verkanten auf, wenn $F > F_{R1} + F_{R2}$ ist. Mit $F_1 = F_2$; $F_{R1} = F_{R2} = F_1 \mu$ und $Fy = F_1 l$ ergibt sich die notwendige Führungslänge zu

$$l \geq 2\mu y. \tag{9.1}$$

- Greift die Kraft F unter einem Winkel α im Abstand x zur Führungsachse an (Bild 9.1c), so tritt ebenfalls bei Vernachlässigung von d nur dann kein Verkanten ein, wenn $F \cos \alpha > F_R$ ist. Mit $F_R = F_{R1} + F_{R2} = [\mu F \sin \alpha (l + 2x)]/l$ ergibt sich die erforderliche Führungslänge zu

$$l \geq 2x\mu \tan \alpha / (1 - \mu \tan \alpha) \quad (9.2)$$

Konstruktive Gestaltung. Bei Gleitführungen ist es vorteilhaft, sehr lange Führungsbahnen (Bild 9.2a) durch zwei Teilflächen in entsprechendem Abstand zu ersetzen (b). Diese zweistellige Führung gestattet gegenüber der einstelligen (durchgehenden) Führung eine wirtschaftlichere Herstellung und garantiert eine definierte Führungslänge l auch bei Durchbiegung oder Fertigungsungenauigkeiten der Führungsteile.

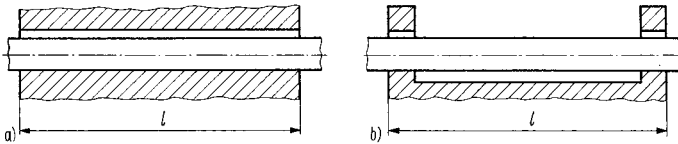


Bild 9.2 Gleitführungen
a) einstellig; b) zweistellig

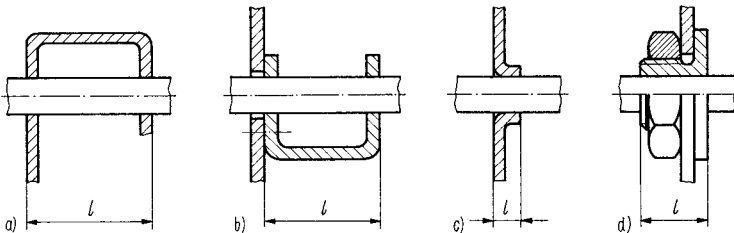


Bild 9.3 Realisierung der erforderlichen Führungslänge bei Zylinderführungen
a) U-Blech; b) Zusatzblech; c) Durchzug; d) Buchse

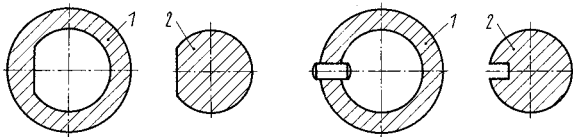


Bild 9.4 Verdrehsicherung
bei Zylinderführungen
1 Außenteil; 2 Innenteil

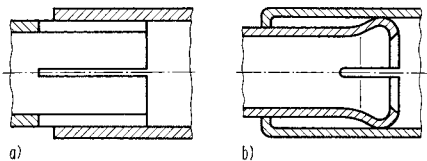


Bild 9.5
Rohrführungen
a) federnd; b) zweistellig und federnd

Je nach Art der konstruktiven Gestaltung ist zwischen offenen und geschlossenen Führungen zu unterscheiden. Letztere erfordern keine zusätzlichen Maßnahmen zum Zusammenhalten der Teile. Häufig vorkommende Ausführungsformen sind Führungen mit zylindrischen Gleitflächen (Bild 9.3), die i. allg. als geschlossene Führungen ausgebildet werden. Sie sind ggf. gegen Verdrehen zu sichern (Bild 9.4) und können z. B. durch federnde Gestaltung der Führungselemente sehr wirtschaftlich spielfrei ausgeführt werden (Bild 9.5). Prismatische Führungen werden eingesetzt, wenn die Führungseigenschaften auch über längere Zeit erhalten bleiben sollen. Sie gestatten den Ausgleich des durch Verschleiß bedingten Spiels mittels

federnder oder nachstellbarer Elemente. **Bild 9.6** zeigt Anwendungsbeispiele für Prismenführungen, wobei die Schwalbenschwanzführung u. a. bei höheren Genauigkeitsforderungen eingesetzt wird.

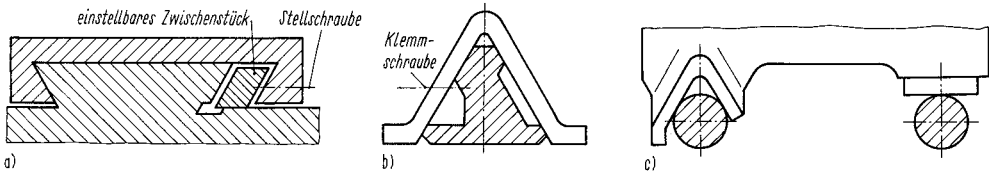


Bild 9.6 Ausführungsbeispiele für Gleitführungen

a) Schwalbenschwanzführung mit nachstellbarem Zwischenstück; b) Führung einer optischen Bank; c) offene Prismenführung größerer Breite

Bei sehr hohen Anforderungen an Reibungsarmut und Führungsgenauigkeit lassen sich auch Luftlager (aerostatische Lager) zum Aufbau von Gleitführungen verwenden [3] [8.6], deren Tragkraft und Stabilität wesentlich von Ausführungsform und Lage der Luftpfeilerdüsen abhängt. Weiteren Vorteilen, wie verschleißloses Arbeiten und lange Lebensdauer, stehen eine relativ geringe Tragfähigkeit und sehr hohe Anforderungen an die Makrogestalt der gepaarten Teile gegenüber.

9.2 Wälzführungen

[3] [9.2] [9.3] [9.4]

Wälzführungen finden Anwendung, wenn höhere Anforderungen an die Leichtgängigkeit der zu bewegenden Teile gestellt werden. Sie lassen sich als Wälzkörperführungen (für geringere Belastungen, **Bild 9.7**) und als Rollenführungen (für größere Belastungen, s. Bild 9.9) ausbilden.

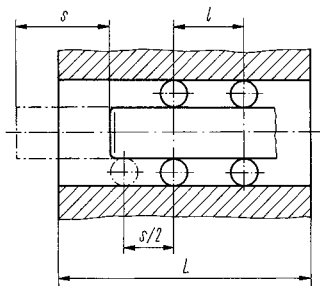


Bild 9.7 Länge des Führungskörpers L bei Wälzkörperführungen

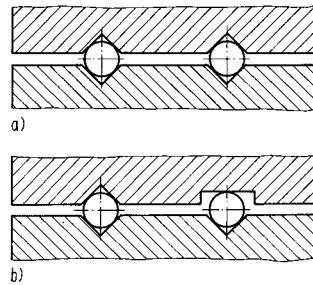


Bild 9.8 Wälzkörperführung bei großer Führungsbreite
a) Doppelführung (sehr enge Toleranzen);
b) Haupt- und Nebenführung

Berechnung. Für die erforderliche Führungslänge gelten die im Abschn. 9.1 angegebenen Beziehungen, wobei der Reibwert für Rollreibung $\mu \approx 1 \cdot 10^{-3}$ beträgt.

Konstruktive Gestaltung. Bei *Wälzkörperführungen* ist zu beachten, daß sich die Länge L des Führungskörpers durch die Mitbewegung der Wälzkörper vergrößert. Nach Bild 9.7 ergibt sich bei Verschiebung des Innenteils um den Betrag s eine Bewegung der Mittelpunkte der Wälzkörper um den Betrag $s/2$. Um zusätzlich noch Sicherheit gegen Herausfallen der Wälzkörper zu haben, sollte für die Länge des Führungskörpers die Bedingung $L_{\min} \geq l + s/2$ eingehalten werden.

Ähnlich wie bei Wälzlager werden die Wälzkörper oft in Käfigen geführt. Bei großer Führungsbreite kann eine Führung nach **Bild 9.8** erreicht werden, wobei die in (a) notwendige,

i. allg. nicht realisierbare enge Tolerierung der Parallelität der Führungsbahnen durch eine Führung nach (b) ohne Beeinträchtigung der Führungsgenauigkeit vermeidbar ist (Haupt- und Nebenführung, wobei die Nebenführung nur eine Verdrehsicherung gewährleisten muß).

Bei *Rollenführungen* (Bild 9.9) ist die Länge des Führungskörpers unabhängig von der Verschiebung der Teile gegeneinander, da die Rollen ortsfest gelagert sind. Gegenüber den Wälzkörperführungen tritt bei Rollenführungen am Lagerzapfen der Rollen eine zusätzliche Gleitreibung auf, wodurch letztere etwas schwerer beweglich sind. Dieser Nachteil kann durch Wälzlager anstelle der Rollen gemindert werden. Die Bilder 9.10 und 9.11 zeigen einige prinzipielle Anordnungen von Rollenführungen.

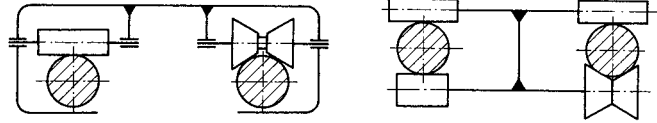
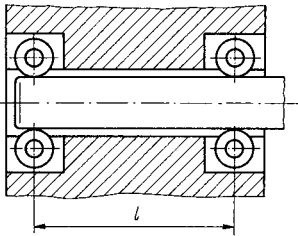


Bild 9.10 Rollenführungen mit zylindrischen Laufflächen

Bild 9.9 Prinzip einer Rollenführung

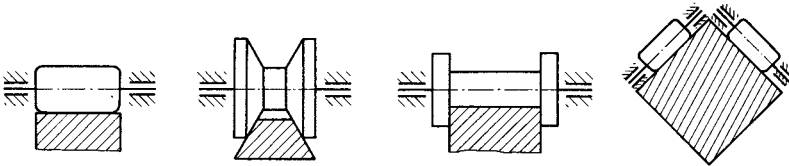


Bild 9.11 Rollenführungen mit prismatischen Laufflächen

9.3 Federführungen

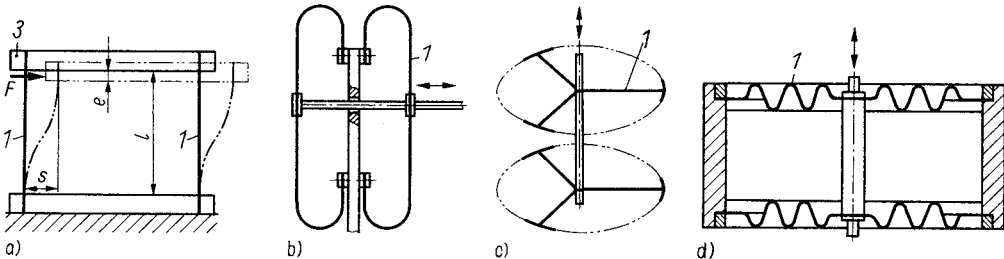


Bild 9.12 Federführungen mit

a) zwei Blattfedern; b) Bügelfedern; c) Spannbändern (für kleine Führungslängen); d) gewellten Membranfedern; *F* Federn

Für sehr kleine Führungslängen lassen sich spielfreie Führungen auf einfache Weise durch geeignete Federanordnungen erreichen [3] [9.2] [9.5]. Bild 9.12a zeigt eine *Federführung* nach Art eines Parallelkurbelgetriebes mit zwei beiderseitig eingespannten Blattfedern. Die für eine Verschiebung erforderliche Kraft läßt sich nach Abschn. 6.3.2 berechnen. Nachteilig ist die sich ergebende Querbewegung mit dem Betrag *e*:

$$e = l^5 F^2 / (960 E^2 I^2) = 3s^2 / (5l); \tag{9.3}$$

E Elastizitätsmodul, *I* Flächenträgheitsmoment des Federquerschnitts.

Dieser Nachteil kann durch eine Anordnung nach Bild 9.12b vermieden werden. Ebenfalls ohne Querversatz bei guter Querstabilität arbeiten die Anordnungen nach den Bildern 9.12c und d.

9.4 Aufgaben und Lösungen zu den Abschnitten 8 und 9

Aufgabe 9.1 Verschleißlagerberechnung

Welcher Zapfendurchmesser ist für ein Verschleißlager mit einmaliger Schmierung erforderlich? Folgende Größen sind gegeben: Lagerbelastung $F = 15 \text{ N}$, Wellenwerkstoff S275JR ($\sigma_{\text{bzul}} = 75 \text{ N/mm}^2$, s. Tafel 3.2), Lagerwerkstoff CuSn8Pb2, Breitenverhältnis $b/d = 1$, Belastungsabstand $a = 2,5 \text{ mm}$ gem. Bild 8.9.

Aufgabe 9.2 Lebensdauerberechnung einer Wälzlagerung

Für die im Bild 9.13 dargestellten Belastungsverhältnisse der Welle ist die Lebensdauer des Fest- und Loslagers zu berechnen. Folgende Werte sind gegeben: $F_1 = 50 \text{ N}$, $F_2 = 80 \text{ N}$, $\alpha = 30^\circ$, $n = 4000 \text{ U/min}$. Es sind Kugellager vom Typ 626 vorgesehen.

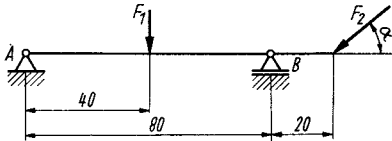
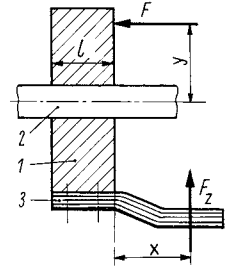


Bild 9.13 Wälzlagerung einer Welle mit Fest- und Loslager

Bild 9.14 Prinzip des Schleifkontakts eines Schiebewiderstands

1 Kontaktbrücke; 2 Säule; 3 Kontakt; F Richtkraft; F_z Kontaktkraft



Aufgabe 9.3 Führung des Schleifkontakts bei einem Schiebewiderstand

Für einen Schiebewiderstand wurde der skizzierte Schleifkontakt vorgesehen (Bild 9.14).

Wie groß muß die Führungslänge l sein, wenn die Kraft $F_z = 5 \text{ N}$, die Abstände $y = 15 \text{ mm}$ und $x = 8 \text{ mm}$ sind und der Schlitten mit einer Kraft $F = 2 \text{ N}$ in beiden Richtungen bewegt werden soll (Reibwert $\mu = 0,2$)?

Aufgabe 9.4 Lagerung einer vertikalen Achse

Es ist eine wartungsfreie Lagerung für die vertikale Achse des Plattentellers eines Phonolautwerks zu konstruieren. Die Lagerung ist zweistellig mit Gleitlagern auszuführen für einen Achsendurchmesser von 6 mm . Die Lagerbuchsen sind in zwei Zwischenwänden des Chassis, die einen lichten Abstand von 50 mm haben, zu befestigen.

Aufgabe 9.5 Betriebssicherheit eines Gleitlagers

Es ist die Betriebssicherheit eines einstellbaren Gleitlagers zu überprüfen. Gegeben: Belastung $F = 5000 \text{ N}$, Wellendrehzahl $n = 800 \text{ U/min}$, Betriebstemperatur $\vartheta_1 = 55^\circ \text{ C}$, Durchmesser der Lagerbohrung $D = 60,130 \text{ mm}$, Zapfendurchmesser $d = 59,981 \text{ mm}$, Lagerbreite $b = 60 \text{ mm}$, Bohrung und Zapfen feingeschliffen, Schmierstoff Schmieröl R50.

Lösung zu Aufgabe 9.1

Der Zapfendurchmesser ist so zu dimensionieren, daß einerseits die zulässige Biegespannung des Wellenwerkstoffs und andererseits die zulässige Flächenpressung des Lagerwerkstoffs nicht überschritten wird. Bei Biegebeanspruchung gilt

$$d_{\text{min}} = \sqrt[3]{10Fa/\sigma_{\text{bzul}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 15 \cdot \text{N} \cdot 2,5 \text{ mm}}{75 \text{ N/mm}^2}} = 1,71 \text{ mm} .$$

Bei Flächenpressung gilt

$$d_{\text{min}} = F/(bp_{\text{zul}}) \quad \text{und mit } b/d = 1: \quad d_{\text{min}} = \sqrt{F/p_{\text{zul}}} .$$

Nach Tafel 8.2b ist für CuSn8Pb2 bei einmaliger Schmierung $p_{\text{zul}} = 2 \text{ N/mm}^2$. Damit wird

$$d_{\text{min}} = \sqrt{15 \text{ N}/(2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2})} = 2,74 \text{ mm} .$$

d muß mindestens $2,74 \text{ mm}$ betragen, um beide Forderungen zu erfüllen. Gewählt wird $d = 3 \text{ mm}$.

Lösung zu Aufgabe 9.2

Zunächst müssen die Auflagerreaktionen ermittelt werden. Das Loslager kann nur Radialkräfte aufnehmen ($B = B_y$), im Festlager tritt neben der Radialkraft A_y auch eine Axialkraft A_x auf. Sie werden mit den drei Gleichgewichtsbedingungen der Statik berechnet:

$$A_x = 69,3 \text{ N}, \quad A_y = 15 \text{ N} \quad \text{und} \quad B = 75 \text{ N} .$$

Die Lebensdauer wird berechnet aus $f_L = f_n C/F$.

Für $n = 4000 \text{ U/min}$ ist $f_{nk} = 0,203$. Das Kugellager vom Typ 626 hat die Tragzahlen $C = 1290 \text{ N}$ und $C_0 = 695 \text{ N}$. Die äquivalente Lagerbelastung ist $P = XF_r + YF_a$. Beim Loslager B ist $F_a = 0$, damit ist nach Tafel 8.5 $X = 1$. Es ergibt sich daraus $P = F_r = B = 75 \text{ N}$.

Der Lebensdauerfaktor beträgt danach $f_L = 0,203 \cdot 1290/75 = 3,5$, das ergibt eine rechnerische Lebensdauer von $L_h = 20000 \text{ h}$. Beim Festlager A ist $F_a = A_x = 69,3 \text{ N}$ und $F_r = A_y = 15 \text{ N}$. Das ergibt für $F_a/C_0 = 69,3/695 = 0,10$ und damit nach Tafel 8.5: $e = 0,30$.

Der Wert $F_a/F_r = 69,3/15 = 4,62 > e$ führt zu folgenden Faktoren: $X = 0,56$ und $Y = 1,45$. Die äquivalente Lagerbelastung für das Festlager ist

$$P = 0,56 \cdot 15 \text{ N} + 1,45 \cdot 69,3 \text{ N} = 109 \text{ N}.$$

Der Lebensdauerfaktor beträgt danach $f_L = 0,203 \cdot 1290/109 = 2,4$, was eine rechnerische Lebensdauer von $L_h \approx 7000 \text{ h}$ ergibt.

Lösung zu Aufgabe 9.3

Die Führungslänge l für den Schleifkontakt nach **Bild 9.15** ergibt sich aus:

$$\widehat{M}_2: -F_1 l + F_y + F_z x = 0$$

$$\widehat{M}_1: -F_2 l + F_y + F_z(x + l) = 0$$

$$F_1 = (F_y + F_z x)/l; \quad F_2 = [F_y + F_z(x + l)]/l.$$

Die Kraft F muß größer als die Reibkraft F_R sein, also $F > F_R$:

$$F_R = \mu(F_1 + F_2) = \mu(2F_y + 2F_z x + F_z l)/l$$

und damit

$$F > \mu[2(F_y + F_z x) + F_z l]/l.$$

Dies eingesetzt, ergibt:

$$Fl - \mu F_z l > 2\mu(F_y + F_z x)$$

$$l > 2\mu(F_y + F_z x)/(F - \mu F_z)$$

$$l > 2(F_y + F_z x)/(F/\mu - F_z)$$

$$l > \frac{2(2 \text{ N} \cdot 15 \text{ mm} + 5 \text{ N} \cdot 8 \text{ mm})}{(2 \text{ N}/0,2) - 5 \text{ N}} = \frac{2 \cdot 70 \text{ N} \cdot \text{mm}}{5 \text{ N}}$$

$$l > 28 \text{ mm}.$$

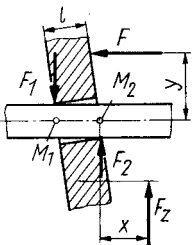


Bild 9.15
Kräfte am Schleifkontakt eines Schiebewiderstands

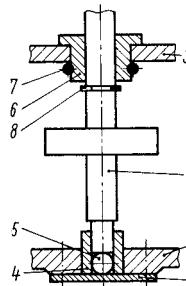


Bild 9.16
Lagerung einer Plattentellerachse
1 Tellerachse; 2, 3 Zwischenwand; 4, 6 Buchse; 5 Kugel; 7 Sprengring; 8 Sicherungsscheibe; 9 Abdeckplatte

Lösung zu Aufgabe 9.4

Da die Achse vertikal steht, ist zur Abstützung der Eigenmasse des Plattentellers ein Axiallager erforderlich. Im **Bild 9.16** wird dies durch die Kugel 5 (Wälzlagerkugel) realisiert. Die seitliche Führung (Radiallager) wird durch zwei Sinterlagerbuchsen 4, 6 erreicht, die eine lange wartungsfreie Lebensdauer garantieren. Der axialen Sicherung dienen die Sicherungsscheibe 8 und die Abdeckplatte 9.

Lösung zu Aufgabe 9.5

Fertigungsspiel: $S = D - d = (60,130 - 59,981) \text{ mm} = 0,149 \text{ mm}$.

Warmspiel: $\Delta S = 60/10000 \text{ mm} = 0,006 \text{ mm}$; $S_w = (0,149 - 0,006) \text{ mm} = 0,143 \text{ mm}$.

Relatives Lagerspiel: $\Psi = S_w/d = 0,143/60 = 2,38 \cdot 10^{-3}$.

Flächenpressung: $p = F/(bd) = 5000/(6 \cdot 6) \text{ N/cm}^2 = 139 \text{ N/cm}^2$.

Winkelgeschwindigkeit: $\omega = 2\pi n = 2\pi \cdot 800/60 \text{ s}^{-1} = 84 \text{ s}^{-1}$.

Zähigkeit (Bild 8.20): $\eta = 0,036 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/cm}^2$.

Sommerfeld-Zahl nach Gl. (8.9): $So = (p\psi^2)/(\eta\omega) = (139 \cdot 2,38^2 \cdot 10^{-6})/(3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 84) = 2,60$.

Relative Schmierschichtdicke (Bild 8.15a mit $b/d = 1$): $\delta = 0,245$.

Schmierschichtdicke: $h_0 = (\delta S_w)/2 = 0,245 \cdot 0,143/2 \text{ mm} = 0,0175 \text{ mm}$.

Kleinste zulässige Schmierschichtdicke nach den Gln. (8.12) und (8.13):

Rauhtiefe der Welle: $\Delta y_{11} \approx 0,003 \text{ mm}$ (feingeschliffen),

Rauhtiefe der Lagerschale: $\Delta y_{21} \approx 0,003 \text{ mm}$ (feingeschliffen),

Verformung der Welle: $\Delta y_{12} = 0,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1,39 \cdot 60 \cdot 1 \text{ mm} \approx 0,0002 \text{ mm}$,

Verformung der Lagerschale: $\Delta y_{22} = 0$,

$$h_{0k} = \sum \Delta y \approx 0,006 \text{ mm} .$$

Größte zulässige Schmierschichtdicke:

$$h_{0g} = 0,35S_w = 0,35 \cdot 0,143 \text{ mm} = 0,050 \text{ mm} .$$

Damit ist $0,006 \text{ mm} < h_0 = 0,0175 \text{ mm} < 0,050 \text{ mm}$, d. h., die Betriebssicherheit ist gewährleistet.

Sachwörterverzeichnis

- Abbildungsmaßstab 61
- Abbrand 95
- Abdichtung 201
- Abmaß 33, 238
- Abplattung 76, 189, 202
- Abrollbewegung 191, 201
- Abwälzfräsen 234
- Achsabstand 233, 240, 255, 259
- Achsabstandsabmaß 238
- Achse 21, 163
- Achsen/durchmesser 163
- winkel 254
- Aderleitung 134
- Allgemeintoleranz 38
- Aluminium 53, 73, 183
- Anlaufmoment 187
- Anzugsmoment 125
- Äquivalentlast 197
- Aufgabenstellung 15
- , präzisierte 15, 17
- Auflager/größe 67, 171, 208
- reaktion 66, 68
- Augenschraube 122
- Ausfallquote 49
- Ausgleichkupplung 212
- Austauschbau 47
- Autogenschweißen 91
- Automatenstahl 52
- Axialfaktor 196
- Kugellager 193
- lager 173, 176
- rastgesperre 59
- Rollenlager 193
- spiel 189, 200

- Bachsche Formel 242**
- Bandleitung 138
- Baustahl 52, 72, 244
- Bauweise, elastische 51, 56, 59, 200, 205
- Beanspruchungsart 72
- Bearbeitungsverfahren 41
- Befestigungsschraube 119
- Belastungsfall 72, 84, 108, 164
- Betriebs/achsabstand 237
- drehzahl 169, 175
- eingriffswinkel 237
- Bewegungs/schraube 121
- widerstand 174, 191
- Bezugsprofil 232

- Biege/beanspruchung 69, 78, 150, 163, 243
- feder 150
- federgelenk 203
- festigkeit 72, 74
- linie 81, 167
- moment 78
- radius 112, 300
- steifigkeit 81
- wechselfestigkeit 74, 245
- Biegung 78, 150, 163, 243
- Bimetallfeder 159
- Blattfeder 150, 203, 207
- Blech/schraube 122
- steppen 113
- Bohrreibung 173, 189
- Bohrung 32, 42
- Bohrungskennziffer 194
- Bolzen 106
- kupplung 213
- Bördeln 111
- Bordscheibe 261
- Brechbolzenkupplung 220
- Bruchgrenze 85, 149, 244
- Buchsenleiste 141
- Buckelschweißen 94
- Bügelelektrode 137
- Bündelverdrahtung 138

- CAD-Arbeitsplatz 19
- Concurrent Engineering 22

- Dauerfestigkeit 85, 128, 244
- Dauerfestigkeitsschaubild 85
- Deckstein 188, 190
- Dehn/grenze 74, 85
- schraube 127
- Dehnung 74, 78
- Dialog 19
- Dichtung 201
- Diffusions/löten 99
- schweißen 94
- Dimensionierung 86
- Dokumentation 15, 16
- Doppel/falz 112
- passung 51
- Drehen 41
- Dreh/elastizität 216
- feder 153
- flankenspiel 238
- moment 81, 147, 164

- momentschlüssel 123
- momentstoß 212, 216
- schwingung 211
- Drehzahl/faktor 197
- , kritische 162, 216
- plan 253
- Dreigelenkbogen 63
- Drillungswiderstand 83
- Druck/beanspruchung 75
- feder 150
- guß 53
- mittelgetriebe 226
- Drucker 19
- Durch/biegung 81, 147, 167
- steckschraube 123
- zug 128
- Dynamik 60, 217
- Dynamoblech 52

- Ebenheitstoleranz 39**
- Edel/metall 53
- stein 188, 202
- Einbetten 114
- Eingriffs/bogen 229
- flankenspiel 238
- linie 234
- strecke 234
- teilung 234
- winkel 232
- Einheitensystem (SI) 60
- Einheits/bohrung 42
- welle 42
- Einlegekeil 109
- Einpressen 115
- Einpreßmutter 115
- Einrollen 111
- Einsatzstahl 52, 72, 244
- Einscheibenkupplung 219
- Einschraubtiefe 124
- Einspannung 151
- Einspreizen 113
- Eintourenkupplung 223
- Eisen 52
- Elastische Linie 81, 167
- Elastizitäts/grenze 85
- modul 72, 74, 148, 189
- Elektrogewinde 121
- Elektronische Bauelemente 309
- Entwicklungsprozeß 13, 17
- Entwurfsberechnung 163, 242
- E-Reihe, internationale 32, 315

- Ergonomie 27
 Ersatzzähnezahl 241
 Erzeugnis/entwicklung 13
 -erprobung 16
 Euler-Hyperbel 77
 Evolventen/funktion 237
 -profil 229
 Extenter 51, 130
- Falzen** 111
 Faser, neutrale 78, 160
 Feder 147
 -arbeit 148
 -berechnung 149
 -führung 207
 -gelenk 203
 -haus 152
 -kennlinie 147, 156
 -lager 203
 -ring 129
 -scheibe 129
 -stahldraht 149
 -steife 126, 169
 -system 156
 -verbindung 109
 -vorspannung 151, 155
 -werkstoff 149
 Fein/gewinde 119
 -schweißen 93
 Fertigungs/dokumentation 16
 -muster 16
 -verfahren 35, 41
 Festigkeits/kenngrößen 72
 -klasse 127
 -lehre 71
 Festkörper/reibung 174
 -schmierstoff 186
 Festlager 173, 199
 Filzring 182, 188
 Flächen/last 61
 -pressung 75, 178, 189, 202
 -trägheitsmoment 79
 Flachformfeder 152
 Flach/riemengetriebe 257
 -rundniet 103
 -verdrahtung 138
 Flachsteck/armatur 141
 -verbindung 141
 Flanken/pressung 245
 -spiel 59, 238
 -winkel 233
 Fliehkraftkupplung 221
 Fließ/grenze 85
 -löten 98
 Fluchten 212
 Flügelmutter 122
 Flüssigkeitsreibung 175
 Flußmittel 99
 Form/elemente 25
 -faktor 247
- kabel 138
 -schluß 100, 103
 -toleranz 38
 -zahl 87, 166
 Fräsen 41
 Freilaufkupplung 222
 Freistiche 288
 Freimaßtoleranz 38
 Freiverdrahtung 139
 Fugenpressung 118
 Füge/spiel 119
 -temperatur 119
 Führung 173, 204
 -, einstellige 205
 -, geschlossene 205
 -, offene 205
 -, zweistellige 205
 Führungs/bahn 205, 207, 227
 -getriebe 227
 -länge 204, 206
 Funktion 15
 Funktions/muster 16
 -struktur 17
 Fußkreisdurchmesser 240
- Ganghöhe** 119
Gangzahl 255
 Gasschweißen 91
 Gebilde, technisches 14
 Gegenmutter 129
 Geelenk 203, 215, 225
 -kupplung 214
 Genauigkeits/grad 34, 38
 -klasse 238
 Geradführung 50, 204
 Geradheitstoleranz 39
 Geradverzahnung 230
 Gerätesteckverbinder 142
 Geschwindigkeitsplan 253
 Gestalt/abweichung 38
 -festigkeit 86
 Gestaltänderungshypothese 84
 Gestalten 23
 -, automatisierungsgerechtes 27
 -, montagegerechtes 27
 -, passungsgerechtes 50
 Gestaltungs/phase 17
 -richtlinie 18, 23, 27
 Getriebe/arten 225
 -passungen 238
 Gewichtskraft 67
 Gewinde 51, 119, 287
 -auslauf 128, 288
 -buchse 128
 -nenndurchmesser 121
 -reibmoment 125
 -, spielfreies 51
 -stift 122
 -tiefe 124
- Glaskeramik 54
 Gleich/ganggelenk 215
 -gewicht 60
 -gewichtbedingungen 66
 -lauf 217
 Gleit/feder 109
 -führung 204
 Gleitlager 174
 -, Entwurfsberechnung 176, 181
 -, Gestaltung 177, 182
 -, hydrodynamisches 175, 178
 -, wartungsfreies 175
 Gleit/modul 76, 148
 -reibung 173
 Globoid/rad 228
 -schnecke 255
 Graphit 186
 Grauguß 52, 73, 246
 Grenz/lastspielzahl 85, 248
 -maß 33
 -zähnezahl 235
 Größtmaß 33, 42
 Grundformen 24
 Grundgesetz, dynamisches 60
 Grund/kreis 231
 -reihen 31
 -toleranzgrad 34
 Gummi/feder 158
 -federkupplung 216
 -härte 158
 -schlauchleitung 135
 Gußeisen 52, 73, 246, 249
- Haft/beiwert** 118
 -maß 118
 Halb/rundniet 103
 -zeug 24
 Halskerbstift 107
 Hardware 19
 Härte 148, 182, 197
 Hart/gewebe 248
 -löten 98, 99
 Haupt/funktion 30
 -werte 31
 Hebelarm 65
 Heizelementschweißen 94
 Hertzsche Pressung 76, 189, 202
 Hobeln 41
 Hochfrequenzleitung 134
 Hohl/keil 109
 -niet 103
 -welle 83
 Honen 41
 Hookesches Gesetz 74, 83, 147
 Hülsenkupplung 211, 213
 Hutmutter 115, 122
 Hyperm 52
 Hypoidgetriebe 254

- Impulsschweißen 92, 94
 Infrarotlöten 136
 Innen/maß 32
 -ring 191
 Instandhaltung 27
 Innstrumentenlager 195
 Involut (inv) 237
 ISO-Toleranzen 33
 Ist/abmaß 33
 -maß 33
 IT-Reihen 34

Justage 50

Kabel/baum 137
 -kordriemen 258
 -schuh 140
 -verdrahtung 138
 Käfig 192, 206
 Kalotte 188
 Kalottenlager 187
 Kalt/gerätestecker 142
 -preßlöten 98
 Kanalverdrahtung 138
 Kantenpressung 168, 177
 Kardan-Gelenk 214
 Kegel/feder 156
 -kupplung 219
 -radgetriebe 254
 -rollenlager 193
 -stift 107
 Kehlnaht 95
 Keil/riemengetriebe 257
 -schubgetriebe 226
 -verbindung 106
 -welle 109
 Keramik 53
 Kerb/nagel 107
 -wirkung 84, 86, 166, 170
 -wirkungszahl 87, 166
 Kerndurchmesser 121
 Kettengetriebe 260, 262
 Kipp/achse 67
 -moment 67
 Kittverbindung 102, 216
 Klauenkupplung 213
 Kleb/stoff 101
 -verbindung 101
 Kleinstmaß 33, 42
 Klemm/feder 152
 -fuge 130
 -leiste 140
 -ring 114, 130
 -verbindung 140
 Knebelkerbstift 107
 Knick/beanspruchung 78
 -sicherheit 78
 Knotenpunkt 64
 Koaxialitätstoleranz 39
 Koaxialkabel 133

 Kolophonium 99
 Kondensatorimpulsschweißen 94
 Konstruktion/aufgaben 13
 -dokumentation 15, 17
 Kontakt/art 135
 -element 132
 -feder 136
 Kontaktierung 135
 Kopf/kreisdruchmesser 240
 -kürzung 238
 -spiel 233
 -überschneidverfahren 234
 Koppel/getriebe 226
 -rastgetriebe 225
 Körnerlager 190
 Korrosion 27, 249
 Kosten 35
 Kraft/eck 64
 -, eingeprägte 62
 -maßstab 61
 -, resultierende 63
 -schluß 115
 -system, allgemeines 64
 - -, zentrales 63
 -vektor 64
 Kräfte/paar 65
 -parallelogramm 64
 Kreis/evolvente 231
 -formtoleranz 39
 Kreuz/federgelenk 203
 -gelenkkupplung 215
 -lochmutter 122
 -scheibenkupplung 214
 Kriechneigung 186
 Kronenmutter 122
 Kugel/gelenkkupplung 215
 -lager 192
 Kunststoff 53, 184, 248
 Kupferlegierung 52, 148, 183, 249
 Kupplung 211
 Kurvengetriebe 226
 Kutzbachplan 253

Lage/plan 63
 -toleranz 39
Lager 173
 -buchse 177, 182
 -deckel 143
 -passung 44, 182, 200
 -spiel 44, 175, 178
 -stein 188
 -temperatur 180
 -werkstoff 182
 -zapfen 177, 188
 Lagerung, spielfreie 200, 203
 Lamellenkupplung 219
 Längenmaße 38
 Längen-Temp.Koeff. 46, 117

Längs/keil 109
 -kraft 123
 -lager 173
 -preßverbindung 116
 -stift 107
 Lappen 111
 Läppen 41
 Last/fall 73, 84, 108, 164
 -spielzahl 85
 -wechsel 72, 85
 Lauf/fläche 177
 -geräusch 187
 -werkgetriebe 241
 Lebensdauer 13, 85, 196
 Lehrenbau 35
 Leicht/bau 83
 -metall 53, 73, 183
 Leistungsgetriebe 241
 Leiterplatte 139
 Leitung, gedruckte 139
 Leitungs/dichte 140
 -ebene 142
 -verbindung, elektrische 132
 Licht/bogenschweißen 93
 -strahllöten 139
 Linie, elastische 81, 167
 Linienberührung 77, 202
 Linsen/halsschraube 122
 -niet 103
 Loch/lager 178
 -leibung 104
 -stein 188, 190
 Los/größe 49
 -lager 173, 199
 Lot 97, 99
 Löt/fahne 25
 -fett 99
 -spalt 100
 -verbindung 97
 -verfahren 98
 -wasser 99
 Luftlager 206

Magnesiumlegierung 53, 73, 183
 Magnetkupplung 218
 Malteserkreuzgetriebe 225
 Maß/bezugslinie 33, 46, 280
 -kette 46
 -stab 61, 271
 -toleranzfeld 34
 Maße 33, 280
 -, freitolerierte 38
 - ohne Toleranzangabe 38
 Maximum-Minimum-Methode 47
 Mehrfachpaßstelle 51
 Mehrlagenleiterplatte 141
 Membran 207, 215
 -kupplung 215
 Menütechnik 22

- Meßfeder 149
 Minderungsfaktor 95
 Mindestführungslänge 204, 206
 Miniaturwälzlager 195
 Mischreibung 175
 Mitnehmer 110, 213
 -kupplung 213
 Mittelspannung 73
 Mitten/rauhwert 40
 -steigungswinkel 255
 -toleranz 39
 Modul 230, 243, 255
 Molybdändisulfid 186
 Moment 78
 Momenten/begrenzung 221
 -diagramm 71
 -verlauf 70, 82
 Mutter/formen 122
 -höhe 124
- Nabenverbindung 109, 170, 250
 Nachstellbarkeit 50, 206
 Nadellager 193
 Naht/anhäufung 96
 -schweißen 94
 Nasenkeil 109
 Nebenfunktion 30
 Neigung 167
 Nenn/abmaß 36
 -durchmesser 121
 -maß 32
 Neukonstruktion 20
 Nicht/eisenmetalle 52
 -metalle 53
 Niet/form 103
 -kopf 103, 105
 -querschnitt 104
 -verbindung 103
 -zapfen 105
 Nitrierstahl 52, 72, 244
 Normal/modul 239
 -spannung 74
 -teilung 239
 -verteilung 50
 Normen 23
 Normmaße, Normzahlen 31
 Notlaufeigenschaft 183
 Null/achsabstand 233, 236, 240
 -getriebe 236
 -serie 16
 Nuten 294
- Oberflächenrauheit** 39, 180, 284
 Ofenlöten 98
 Öl/senkung 187
 -viskosität 175
 Optimierung 14, 22
 Outsert-Technik 115
- Paketkordriemen** 258
Parallelitätstoleranz 39
Parallel/spaltschweißen 97, 137
 -stoß 97
Paß/feder 109
 -schraube 123
 -stelle 50
 -stift 106
 -system 32, 42
 -toleranz 42, 118
Passung 32, 41
Passungsauswahl 43, 182, 200
Pendelkugellager 192
Permaloy 52
Pfanne 201
Pflichtenheft 16
Planetenradgetriebe 227
Plaste 53, 184, 248
Platine 176, 250
Platinenbauweise 251
Plotter 19
Poissonsche Zahl 75, 118, 189
Polstrahl 253
Poly/amid 73, 184, 248
 -chloropren 260
 -oximethylen 73, 184, 248
 -styren 73
 -tetrafluoräthylen 184
 -urethan 73, 260
 -vinylchlorid 73
Polygoneffekt 262
Pressen 41
Preß/fuge 116
 -passung 41
 -schweißen 94
 -stoff 114
 -verbindung 115, 250
Pressung, maximale 77
Pressungsbeiwert 118
Preßverbände 115
Prinzip, technisches 16, 17
Prismenführung 206
Profil/bezugslinie 235
 -form 231
 -überdeckung 233, 235, 237
 -verschiebung 235
 -wellenverbindung 109
Projektionsarten 273
Proportionalitätsgrenze 74, 76
Punkt/berührung 76, 189, 191
 -last 196
 -schweißen 94
- Qualität** 34, 238
Qualitätsstahl 52
Quer/kraft 69, 123
 -lager 173
 -preßverbindung 116
 -stift 107
- verkürzung 75
 -zahl 75, 118, 189, 246
- Räder/kette** 228
 -koppelgetriebe 225
Radial/dichtring 201
 -faktor 196
 -lager 173, 176
Rändel/mutter 122
 -schraube 122, 299
Rastvorrichtung 56, 59
Rauheit 39, 180
Räumen 41
Reaktions/kraft 62
 -löten 99
 -prinzip 62
Rechentechnik 18
Rechtwinkligkeitstoleranz 39
Recycling 14, 27
Reiben 41, 50
Reib/fläche 224
 -körpergetriebe 226
 -löten 99
 -moment 174, 189
 -paarung 220
 -richtgesperre 222
 -schweißen 94
 -werkstoffe 221
Reibung 173
Reibungskupplung 218
Reibwert 174, 179, 191, 204, 220
Reihe, geometrische 31, 56
Relais 17
Richtgesperre 222
Riemengetriebe 156
Rillenkugellager 192
Ring/kette 262
 -schmierlager 182
 -schraube 122
Rippe 80
Risikofaktor 50
Ritzelwelle 250
Roboter montage 29
Rohrführung 205
Roll/bahn 191
 -reibung 173, 191
 -widerstand 191
Rollen/führung 206
 -kette 262
Rötscher-Kegel 126
Rück/holfeder 153
Verdrahtung 139
Rund/gewinde 121
 -laufabweichung 238
 -wertreihen 31
Rutsch/kraft 118
 -kupplung 221
- Sägewinde** 121
Schadensfälle 241

- Schälbeanspruchung 102
 Schalenkupplung 211
 Schalt/draht 133
 -kupplung 217, 218
 -zeichen 304
 Scheiben/feder 109
 -kupplung 211, 213
 Schelle 130
 Schenkelfeder 153
 Scherbeanspruchung 75, 104
 Schlangenfederkupplung 216
 Schlankheitsgrad 77
 Schließkopf 103
 Schlingfederkupplung 222
 Schlupf 261
 Schluß/maß 47
 -toleranz 47
 Schmelzschweißen 91
 Schmieden 41
 Schmier/druck 175
 -fett 186, 251
 -öl 185, 251
 -schichtdicke 178
 -spalt 178
 -stoff 175, 185
 Schmierung 185, 251
 —, hydrodynamische 176
 Schnecke 255
 Schneckengetriebe 255
 Schneidenlager 201
 Schneidschraube 122
 Schnitt/darstellungen 275
 -reaktion 69
 Schräg/kugellager 192
 -zahnrad 230, 239, 255
 Schrägungswinkel 239
 Schränken 111
 Schraube 119
 —, längsbelastet 124
 —, querbelastet 124
 Schrauben/ende 123
 -feder 154, 214
 -form 122
 -getriebe 226
 -kegelradgetriebe 254
 -linie 119
 -stirnradgetriebe 256
 Schraubenverbindung, Berechnung 124
 —, Gestaltung 128, 287
 —, Sicherung 129
 Schub/modul 76, 148
 -spannung 76
 Schulterkugellager 192
 Schutzgaslöten 99
 Schwalbenschwanzführung 51, 206
 Schwallöten 98, 139
 Schweißbarkeit 93
 Schweiß/elektrode 92
 -konstruktion 96
 -nahtberechnung 94
 -verbindung 91
 -verfahren 92
 Schwellast 72
 Schwellfestigkeit 72
 Schwenkrahmen 144
 Schwermetall 53
 Schwerpunkt 67
 Schwingungsminderung 216
 Sechskant/mutter 122
 -schraube 122
 Seil 63
 Seileckverfahren 65, 88
 Seilrolle 146
 Selbst/reinigungseffekt 137
 -sperrung 255
 Senk/niet 103
 -schraube 51, 122
 Serienfertigung 16
 Shore-Härte 158
 Sicherheitsfaktor 74, 86, 101, 104, 166, 243
 Sicherungs/blech 129
 -ring 114, 199
 -scheibe 114
 Sicken 80, 111
 SI-Einheiten 60
 Silikate 53
 Simulation 22
 Simultaneous Engineering 22
 Sinterlager 187
 Smith-Diagramm 85
 Software 18
 Sommerfeld-Zahl 178
 Sonderstahl 52
 Spann/bandlager 152, 203
 -rolle 256
 -stift 107
 Spannung, ertragbare 73, 84, 95
 —, zulässige 73, 84, 95
 —, zusammengesetzte 83
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 85
 Spannungs/ausschlag 73
 -querschnitt 124
 -zustand 72
 Spiel 42, 239
 -freiheit 51, 59, 200, 207, 214
 -passung 41
 Spiralfeder 152
 Spitzenlager 188
 Spreizverbindung 113
 Spreng/niet 105
 -ring 114
 Sprungüberdeckung 239
 Spur/fläche 177
 -platte 195
 Stab 63
 -federkupplung 216
 Stabilität 60
 Stahl 52, 72, 148, 244
 -guß 52, 73
 -profile 24
 Stand/getriebe 227
 -moment 66
 -sicherheit 66
 Statik 60
 Stauchung 78
 Stecker 142
 -leiste 141
 Steck/hülse 141
 -verbindung 141
 Steg 227
 Steigung 119
 Steinerscher Satz 79
 Steinlager 188
 Stift/schraube 122
 -verbindung 106
 Stirn/lauftoleranz 47
 -modul 239
 -radgetriebe 252
 -schnitt 239
 -teilung 239
 Stockpunkt 186
 Stoffschluß 91
 Stoßarten 97, 100, 102
 Stoßsicherung 190
 Streckenlast 68, 82, 88
 Streckgrenze 85, 127, 148, 247
 Streuung, relative 50
 Stribeck-Diagramm 175
 Stromlaufplan 304
 Struktur, Strukturplan 14, 62
 Stückzahl, Stückliste 28, 269
 Student-Verteilung 50
 Stufen/sprung 31
 -übersetzung 252
 Stumpfnah 95, 97
 Stützlager 173, 201
 Symmetrietoleranz 39
 Synchronisierereinrichtung 218
 Synchronriemen 260, 261
 T-Stoß 97
 Tangentialspannung 76
 Tauchlöten 98
 Teilkegelwinkel 254
 Teilkreis 229
 -durchmesser 230
 -teilung 229
 Teilübersetzung 252
 Teilung 229
 Teilungsabweichung 238
 Teilverfahren 234
 Tellerfeder 157
 Temperaturdehnung 46, 149
 Temperguß 52
 Tetmayersche Gleichung 78
 Thermobimetal 159

- Titan 53
 Toleranzen 32, 283
 Toleranz/faktor 34
 -fortpflanzungsgesetz 47
 -grad 34
 -kette 46
 -klasse 35
 -mittenabmaß 48
 -mittenmaß 47
 -rechnung 46
 Torsion 81, 154, 164
 Torsions/band 154
 -beanspruchung 81, 150, 164
 -feder 154
 -moment 81, 164
 -schwingungen 168
 -spannung 81, 164
 -steifigkeit 83
 Traganteil 110
 Träger 63, 68
 Tragfähigkeit 196, 241
 —, dynamische 196
 —, statische 199
 Trägheits/achse 79
 -moment 79
 Tragzahl 196
 Trapez/feder 150
 -gewinde 121
 Triebfeder 152
 Trockenreibung 174, 220
 Tropfenverhalten 186
 Trumneigung 259
- Über/bestimmung 27, 51
 -deckung 233, 237
 -gangsdrehzahl 175
 -gangspassung 42
 -lappstoß 97
 -lastsicherung 221
 -maß 42
 Übersetzung 227, 252, 255, 259
 Übertragungs/funktion 225
 -getriebe 225
 Uhrenöl 186
 Uhrwerkverzahnung 231
 Ultraschallschweißen 94
 Umfangslast 196
 Umlauf/biegung 165
 -faktor 196
 -rädernetriebe 227, 253
 -schmierung 252
 Umschlingungswinkel 259
 Ungleichmäßigkeitsgrad 214
 Unstetigkeitsstelle 70, 170
 Unterschnitt 235
 Unwucht 111, 168
- V-Getriebe 237
 V-Null-Getriebe 237
- Varianten/auswahl 28
 -konstruktion 20
 Verbindungs/elemente 91
 -verfahren 91
 Verdrahtung 137
 Verdreh/festigkeit 85
 -flankenspiel 238
 -sicherung 106
 Verdrehung 81
 Verdrillung 168
 Verformung 76, 83, 167
 Vergleichsspannung 84, 164
 Vergütungsstahl 52, 72, 244
 Verkanten 204
 Verlustleistung 174
 Verpressen 115, 117
 Versagensspannung 86
 Verschleiß 173
 -lager 176
 Verschluss Scheibe 114
 Verschlusschraube 122
 Versetzungsmoment 66
 Verspannung, radiale 59
 —, tangentielle 59
 Verspannungsdreieck 125
 Vertikallager 188
 Verzahnung 229
 —, spielfreie 59
 Verzahnungs/gesetz 229
 -größen 232
 Vierkantmutter 122
 Viskosität 178, 185
 Vorspannkraft 125, 259
 Vorzugs/maße 31
 -passungen 35, 200
 -toleranzen 35
- Wahrscheinlichkeitstheorie 49
 Walzen 41
 Wälz/fräsen 234
 -führung 206
 -kreis 232
 -lager 191
 -lagereinbau 43, 199
 -lagerpassung 200
 -lagersitz 170
 -punkt 229
 -reibung 173
 -zylinder 230
 Wärmeleitvermögen 184
 Warm/gerätestecker 142
 -spiel 182
 Wasseraufnahme 46
 Wechsel/festigkeit 72
 -last 72
 Weichlöten 98
 Welle 32, 42, 163
 Wellendurchmesser 164
- Werkstoff/auswahl 51, 149, 169,
 182, 246, 286
 -kenngrößen 72, 74, 84
 Werkzeugstahl 52
 Wickelverbindung 142
 Widerstands/löten 98, 139
 -moment 78, 83, 163
 -schweißen 94
 Winkligkeitstoleranz 39
 Wirk/fläche 18, 28
 -prinzip 24
 Wirkungslinie 61
 Wöhler-Kurve 85
- Zähigkeit 178, 185
 Zahlenreihe 31
 Zahn/breite 239
 -dicke 230
 -dickenabmaß 238
 -flanke 229, 232
 -flankentragfähigkeit 245
 -fußhöhe 230
 -fußtragfähigkeit 243
 -kette 262
 -kopfhöhe 230
 -kraft 242
 -kranz 249
 -kupplung 215
 -profil 229
 -weitenabmaß 238
 Zähnezahl 230
 Zahnrad, Gestaltung 249, 298
 -getriebe 225, 227
 —, Spielfreiheit 59
 -werkstoffe 244
 Zahn/riemengetriebe 260
 -scheibe 129, 260
 -stangengetriebe 228
 Zapfen 177, 182
 Zeichnungs/formate 271
 -satz 269
 Zeitfestigkeit 85, 241, 248
 Zentrierbohrung 212, 293
 Zug 75
 -faser 71
 -feder 150, 160
 -festigkeit 72, 85, 148, 244
 -mittelgetriebe 225, 256
 Zwangszustand 24
 Zweckform 25
 Zweiflankenanlage 59, 239
 Zyklode 231
 Zylinder/formtoleranz 39
 -führung 205
 -rollenlager 193
 -schnecke 255
 -schraube 122
 -stift 106