

Taschenbuch der Maschinenelemente

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg und
Dipl.-Ing. Manfred Kaczmarek

Mit 511 Bildern und 112 Tabellen

FACHBUCHVERLAG LEIPZIG
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	21
1.1	Definition und Arten der Maschinenelemente.	21
1.2	Geschichtliches	21
1.3	Ausführung und Einsatz der Maschinenelemente.	22
2	Maschinenzeichnen	24
2.1	Übersicht	24
2.2	Technisches Freihandzeichnen	24
2.3	Zeichnungen - Begriffe, Grundnormen und -regeln.	25
2.3.1	Begriffe.	25
2.3.2	Formate, Blattgrößen, Vordrucke, Maßstäbe.	26
2.3.3	Linien und ihre Anwendung	27
2.4	Zeichnung - Träger von Informationen.	28
2.4.1	Geometrieinformation.	28
2.4.1.1	Ansichten in Parallelprojektionen.	28
2.4.1.2	Axonometrische Darstellungen.	31
2.4.1.3	Besondere Ansichten.	32
2.4.1.4	Darstellung von Einzelheiten.	33
2.4.1.5	Vereinfachte Darstellungen.	33
2.4.1.6	Schnittdarstellungen.	33
2.4.2	Bemaßungsinformation.	36
2.4.2.1	Elemente der Maßeintragung	36
2.4.2.2	Eintragen von Maßen.	37
2.4.2.3	Eintragen von Toleranzen	38
2.4.3	Technologie- und Qualitätsinformationen.	39
2.4.4	Organisatorische Informationen.	39
2.5	CAD - Computer Aided Design.	40
2.5.1	Die Nutzung von 2D-CAD-Systemen.	40
2.5.2	Die Nutzung von 3D-CAD-Systemen.	41
3	Konstruktionsmethodik und Normung	44
3.1	Grundlegende Arbeitsmethodik.	44
3.2	Allgemeiner Lösungsprozess.	44
3.3	Systematische Suche nach Lösungen.	45
3.3.1	Konventionelle Methoden.	45
3.3.2	Kreativitätstechniken	46
3.4	Beurteilung von Lösungen.	49
3.5	Entscheidungen.	50
3.6	Konstruktionsprozess.	50
3.6.1	Klären der Aufgabenstellung	50
3.6.2	Konzipieren	52
3.6.3	Entwerfen und Ausarbeiten.	52
3.7	Die Randbedingungen der Konstruktionsmethodik.	53
3.8	Zusammenfassung Konstruktionsmethodik.	54
3.9	Normung	54
3.9.1	Innerbetriebliche Normen.	54

3.9.2	Nationale Normen.	55
3.9.3	Europäische Normen.	55
3.9.4	Internationale Normen.	55
3.9.5	Normen im Konstruktionsprozess.	56
3.9.6	Inhalt und Art von DIN-Normen.	57
3.9.7	Typung, Normzahlen und Normreihen.	58
Bezeichnung von Werkstoffen.		62
4.1	Werkstoffauswahl.	62
4.2	Stahl - Eigenschaften und Bezeichnung.	63
4.2.1	Bezeichnung nach europäischer Norm (DINEN 10027).	64
4.2.1.1	Kurznamen der Gruppe 1.	64
4.2.1.2	Kurznamen der Gruppe 2.	66
4.2.2	Werkstoffnummern.	68
4.2.2.1	Werkstoffnummern nach DIN 17007.	68
4.2.2.2	Werkstoffnummern nach DINEN 10027.	68
4.2.3	Charakterisierung und Namen einiger Stähle.	69
4.2.3.1	Baustähle.	69
4.2.3.2	Einsatzstähle.	72
4.2.3.3	Vergütungsstähle.	72
4.2.3.4	Nitrierstähle.	73
4.2.3.5	Sonderstähle.	74
4.3	Gusseisen - Eigenschaften und Bezeichnung.	75
4.4	Nichteisenmetalle.	78
4.5	Keramik.	83
4.6	Polymere.	83
4.7	Zusammenfassung und Relativkosten der Werkstoffe.	85
Gestaltung von Maschinenteilen.		89
5.1	Begriffsbestimmungen.	89
5.1.1	Maschine.	89
5.1.2	Gestalten.	91
5.1.3	Voraussetzungen.	92
5.1.4	Einflussgrößen.	92
5.1.5	Wertanalyse.	93
5.2	Gestaltungslehre.	93
5.2.1	Einführung.	93
5.2.2	Vorgaben.	94
5.2.3	Konstruktionsstrategien.	95
5.2.3.1	Bauteilsicherheit.	95
5.2.3.2	Selbsthilfe.	97
5.2.3.3	Aufgabenteilung.	98
5.2.3.4	Kraft-und Energieführung.	101
5.2.4	Gestaltungsrichtlinien.	102
5.2.4.1	Betriebsbedingungen.	102
5.2.4.2	Werkstoff.	104
5.2.4.3	Herstellung.	108
5.2.4.4	Verwendung.	110

Inhaltsverzeichnis

	5.2.3.5	Wartung	. . . . .	111
	5.2.3.6	Sicherheit	. . . . .	111
	5.2.3.7	Vorschriften	. . . . .	111
	5.2.3.8	Verwertung	. . . . .	112
	5.2.5	Bausysteme	. . . . .	112
5.3		Ausführungssysteme	. . . . .	113
	5.3.1	Arbeitstechnik	. . . . .	113
	5.3.2	Fertigungsunterlagen	. . . . .	115
	5.3.3	Kennzeichnung	. . . . .	115
5.4		Zusammenfassung	. . . . .	115
6		Bauteilfestigkeit	. . . . .	118
6.1		Grundlagen	. . . . .	118
	6.1.1	Zugspannungen	. . . . .	118
	6.1.2	Druckspannungen	. . . . .	119
	6.1.3	Flächenpressungen	. . . . .	119
	6.1.4	Schub	. . . . .	120
	6.1.5	Biegung	. . . . .	120
	6.1.6	Torsion	. . . . .	123
6.2		Mehrachsiges Spannungszustand	. . . . .	125
	6.2.1	Allgemeines	. . . . .	125
	6.2.2	Gestaltänderungsenergie-Hypothese (v. Mises) (GEH)	. . . . .	127
	6.2.3	Normalspannungshypothese (NH)	. . . . .	127
	6.2.4	Schubspannungshypothese (Tresca) (SH)	. . . . .	127
	6.2.5	Weitere Spannungshypothesen bzw. Versagenskriterien	. . . . .	128
	6.2.6	Beispiel	. . . . .	128
6.3		Dauerfestigkeit	. . . . .	129
	6.3.1	Lastfälle	. . . . .	129
	6.3.2	Werkstoffkennwerte	. . . . .	130
	6.3.3	Dauerfestigkeitsschaubild (DFS)	. . . . .	131
	6.3.4	Oberflächeneinfluss	. . . . .	132
	6.3.5	Größeneinfluss	. . . . .	132
	6.3.6	Kerbwirkung	. . . . .	132
6.4		Betriebsfestigkeit	. . . . .	136
6.5		Instabilitätsfall: Knicken	. . . . .	137
6.6		Achsen und Wellen	. . . . .	138
	6.6.1	Verformung von Balken	. . . . .	139
	6.6.2	Beispiel	. . . . .	141
7		Schweißverbindungen	. . . . .	153
7.1		Merkmale und Anwendung von Schweißverbindungen	. . . . .	153
7.2		Schweißbeignung von Werkstoffen	. . . . .	153
	7.2.1	Metalle	. . . . .	154
	7.2.2	Kunststoffe	. . . . .	155
	7.2.3	Schweißzusatzwerkstoffe	. . . . .	155
7.3		Festigkeit und Berechnung von Schweißverbindungen	. . . . .	156
7.4		Gestaltung von Schweißverbindungen	. . . . .	160

7.5	Schweißverfahren	.162
7.6	Zeichnerische Darstellung von Schweißverbindungen	.166
7.6.1	Nahtarten und Nahtsymbole	.166
7.6.2	Anordnung der Schweißnahtsymbole	.167
7.6.3	Bemaßung der Schweißverbindungen	.168
7.6.4	Zusatzangaben	.170
8	Lötverbindungen	.173
8.1	Merkmale und Anwendung von Lötverbindungen	.173
8.2	Werkstoffe	.173
8.2.1	Löteignung von Werkstoffen	.174
8.2.2	Lote	.174
8.2.3	Flussmittel	.176
8.3	Festigkeit von Lötverbindungen	.176
8.4	Gestaltung von Lötverbindungen	.177
8.5	Lötverfahren	.179
8.6	Zeichnerische Darstellung von Lötverbindungen	.180
8.6.1	Stoßarten	.180
8.6.2	Nahtarten	.181
9	Klebverbindungen	.183
9.1	Einführung	.183
9.2	Grundlagen der Klebtechnik	.184
9.2.1	Zusatznutzen durch Kleben	.185
9.2.2	Klebstoffe	.187
9.2.2.1	Einteilung der Klebstoffe	.187
9.2.2.2	Epoxid-Klebstoffe	.188
9.2.2.3	Polyurethan-Klebstoffe	.189
9.2.2.4	Acrylat-Klebstoffe	.191
9.2.2.5	Phenolharze	.193
9.2.2.6	PVC-Klebstoffe	.194
9.3	Klebgerechtes Konstruieren	.194
9.4	Vorbereitung der Fügeteile	.196
9.5	Fertigungstechnik Kleben	.197
9.6	Eigenschaften der Klebverbindungen	.198
9.7	Prüfen von Klebverbindungen	.201
9.8	Berechnung von Klebverbindungen	.202
9.9	Kleben in Kombination mit anderen Fügeverfahren	.204
9.10	Vergleich der verschiedenen Fügeverfahren	.205
9.11	Anwendungen in der Praxis	.206
9.12	Zukunftsaussichten	.207
10	Nietverbindungen	.208
10.1	Grundlagen	.208
10.2	Nietformen und Nietwerkstoffe	.209
10.3	Herstellung einer Vollnietverbindung	.210
10.4	Gestaltung der Verbindung	.211
10.5	Berechnung	.211
10.6	Blindnietverbindungen	.212

10.7	Stanznietverbindungen	213
10.8	Anwendungen	215
10.8.1	Verbindungen im Stahlbau	215
10.8.2	Verbindungen im Leichtbau	216
10.8.3	Verbindungen im Automobilbau	216
11	Clinchverbindungen	218
11.1	Grundlagen	218
11.2	Formen der Clinchverbindung	219
11.3	Herstellung einer Clinchverbindung	220
11.3.1	Konventionelles Clinchen	220
11.3.2	Taumelclinchen	221
11.3.3	Flachpunktclinchen	222
11.4	Gestaltung einer Clinchverbindung	223
11.5	Anwendungen	223
11.5.1	Verbindungen im Leichtbau	223
11.5.2	Verbindungen im Automobilbau	224
12	Pressverbände	226
12.1	Grundlagen	226
12.2	Herstellverfahren	227
12.2.1	Längspressverband	227
12.2.2	Querpressverbände	228
12.2.3	Druckölverband	229
12.3	Berechnung	229
12.3.1	Grundlagen	229
12.3.2	Rein elastischer Pressverband	232
12.3.3	Elastisch-plastischer Pressverband	234
12.3.4	Einpresskraft und Füge temperaturen	235
12.4	Gestaltung	235
13	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	237
13.1	Grundlagen	237
13.2	Mittelbare Formschlussverbindungen	237
13.2.1	Passfederverbindung	237
13.2.2	Stiftverbindung	241
13.3	Unmittelbare Formschlussverbindungen	245
13.3.1	Keil- und Zahnwellenverbindungen	245
13.3.2	Polygonverbindungen	249
13.2.2.1	Querstiftverbindungen	242
13.2.2.2	Längsstiftverbindungen	243
14	Schraubenverbindungen	255
14.1	Schrauben und Muttern	255
14.1.1	Herstellung von Schrauben und Muttern	255
14.1.2	Warmbehandlung	255
14.1.3	Normung	256
14.1.4	Qualität	257
14.2	Zeichnungs- und Kaltformteile	258

14.3	Auslegung und Berechnung von Schraubenverbindungen	259
14.3.1	Grobe Kalkulation	259
14.3.2	Genaue Berechnung einer Schraubenverbindung.	264
14.4	Verhalten von Schraubenverbindungen unter Belastungen.	264
14.5	Montage von Schraubenverbindungen.	268
14.6	Anziehverfahren.	270
14.6.1	Anziehen von Hand.	270
14.6.2	Anziehen mit Drehmomentschlüsseln.	270
14.6.3	Motorische Anziehverfahren.	270
14.7	Sichern von Schraubenverbindungen.	272
14.7.1	Lockern und Losdrehen von Schraubenverbindungen	272
14.7.2	Lockern durch Setzen der Schraubenverbindung.	273
14.7.3	Relativbewegungen zwischen den verspannten Teilen	274
14.7.4	Die Mechanik des selbsttätigen Losdrehens.	274
14.7.5	Losdrehverhalten verschiedener Sicherungselemente und -Systeme.	275
14.7.6	Bewertung der Wirksamkeit im Vergleich.	276
14.7.7	Unwirksame Unterlegemente.	277
14.7.8	Verliersicherungen.	278
14.7.9	Losdrehsicherungen.	278
14.7.10	Einfluss dieser Erkenntnisse auf die Normung.	280
14.8	Korrosionsgeschützte Verbindungselemente.	281
14.8.1	Korrosionsprüfung.	281
14.8.2	Korrosionsschutz durch Oberflächen- behandlungen.	282
14.8.2.1	Nichtmetallische Schutzschichten.	282
14.8.2.2	Galvanische Schutzschichten.	282
14.8.2.3	Mechanisches Verzinken.	283
14.8.2.4	Zinklamellenüberzüge.	283
14.8.2.5	Feuerverzinkte Schrauben und Muttern	284
14.9	Schraubenverbindungen für spezielle Anwendungen.	284
14.9.1	HV-Schrauben Verbindungen.	284
14.9.2	Gewindefurchende Schrauben.	284
14.10	Schadensfälle an Schraubenverbindungen.	285
15	Metallfedern	289
15.1	Einleitung.	289
15.2	Grundlagen.	289
15.2.1	Federkennlinie.	292
15.2.2	Federrate.	292
15.2.3	Federarbeit.	292
15.2.4	Hysterese.	293
15.2.5	Relaxation.	293
15.3	Werkstoffe.	294
15.3.1	Federstahldraht nach EN 10270-1.	295
15.3.2	Ventilfederdraht nach EN 10270-2	295
15.3.3	Nichtrostender Federstahl.	296
15.3.4	Nichteisenmetalle.	296
15.3.4.1	Kupferlegierungen.	296

	15.3.4.2	Nickellegierungen	296
	15.3.4.3	Titanlegierungen	297
	15.3.5	Einfluss der Arbeitstemperatur	297
	15.3.5.1	Verhalten bei erhöhten Arbeits- temperaturen	297
	15.3.5.2	Verhalten bei tiefen Betriebstemperaturen	298
15.4	Berechnung		299
	15.4.1	Federsysteme	300
	15.4.1.1	Parallelschaltung	300
	15.4.1.2	Reihenschaltung	301
	15.4.1.3	Mischschaltung	301
	15.4.2	Druckfedern	302
	15.4.2.1	Allgemeines	302
	15.4.2.2	Berechnung zyklischer Druckfedern	306
	15.4.3	Zugfedern	305
	15.4.3.1	Allgemeines	305
	15.4.3.2	Berechnung von Zugfedern	306
	15.4.4	Drehfedern (Schenkelfedern)	308
	15.4.4.1	Allgemeines	308
	15.4.4.2	Berechnung von Drehfedern	309
	15.4.5	Tellerfedern	311
	15.4.5.1	Allgemeines	311
	15.4.5.2	Berechnung von Einzeltellerfedern	311
	15.4.5.3	Kombination von Einzeltellerfedern	313
16	Grundlagen der Verzahnung		315
	16.1	Grundlagen	315
	16.1.1	Bezeichnungen	315
	16.1.2	Grundformen	315
	16.2	Verzahnung	316
	16.2.1	Verzahnungsgesetz	316
	16.2.2	Evolventenverzahnung	317
	16.3	Geometrie von Zahnrädern	319
	16.3.1	Null-Außenverzahnung	319
	16.3.2	Planverzahnung, Bezugsprofil	320
	16.3.3	Null-Schrägverzahnung	321
	16.3.4	Profilverschiebung	323
	16.3.5	Geometrische Grenzen	326
	16.3.6	Profilüberdeckung	327
	16.4	Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirnräder	329
	16.4.1	Zahnkräfte	329
	16.4.2	Reibung, Wirkungsgrad, Übersetzung	331
	16.4.3	Tragfähigkeit	332
	16.4.4	Zahnfußtragfähigkeit der Stirnräder	335
	16.4.5	Grübchentrugfähigkeit der Stirnräder	336
17	Getriebetechnik		339
	17.1	Industrielle Antriebstechnik	339
	17.2	Standardgetriebe	341

17.2.1	Getriebetypen	346
17.2.1.1	Koaxialgetriebe	346
17.2.1.2	Parallelwellengetriebe	347
17.2.1.3	Winkelgetriebe	348
17.2.1.4	Mechanisches Verstellgetriebe	351
17.2.2	Getriebeauslegung	355
17.2.2.1	Getriebegehäuse	355
17.2.2.2	Zahnräder	357
17.2.2.3	Wellen und Lager	368
17.2.2.4	Schmierung	371
17.3	Servogetriebe	376
17.3.1	Wichtige Definitionen der Servotechnik	378
17.3.1.1	Verdrehspiel	378
17.3.1.2	Verdrehsteifigkeit	378
17.3.2	Servoplanetengetriebe	379
17.3.3	Servowinkelgetriebe	382
17.3.4	Berechnung und Projektierung von Servogetrieben	383
17.4	Industriegetriebe	384
18	Zugmittelgetriebe - Ketten	390
18.1	Aufbau von Rollenketten	390
18.2	Langgliedrige Rollenketten	392
18.3	Aufbau von Zahnketten	393
18.4	Kettenräder	394
18.4.1	Verzahnung, Abmessungen	395
18.4.2	Werkstoffe	396
18.4.3	Triebstockverzahnung	397
18.5	Kettenspanner und Kettenführungen	398
18.6	Auslegung von Kettengetrieben	399
18.6.1	Kinematik des Kettengetriebes	399
18.6.2	Dynamik des Kettengetriebes	401
18.6.3	Geometrie des Kettengetriebes	404
18.6.3.1	Berechnung der Kettenlänge	405
18.6.3.2	Berechnung des Achsabstandes	405
18.6.4	Bestimmende Faktoren der Lebensdauer von Kettengetrieben	407
18.6.5	Einflüsse veränderlicher Parameter	408
18.6.6	Wartungsarme Ketten	409
19	Zugmittelgetriebe - Flachriemen	411
19.1	Definition	411
19.2	Aufbau von Flachriemen	411
19.3	Auslegung von Flachriemen	413
19.4	Typische Anwendungen von Flachriemen	415
20	Zugmittelgetriebe - Keil- und Keilrippenriemen	417
20.1	Funktion und Betriebsverhalten	417
20.2	Grundlagen der Drehmomentübertragung	418
20.3	Produktübersicht	420

20.4	Riementypen	420
20.4.1	Ummantelte Keilriemen und Kraftbänder	420
20.4.2	Flankenoffene Keilriemen und Breitkeilriemen	421
20.5	Normung	422
20.6	Geometrische und kinematische Beziehungen	423
20.7	Berechnung	426
20.7.1	Berechnungsschritte	426
20.7.2	Datenblatt zur Berechnung von Antrieben	427
20.7.3	Belastungsfaktor C_v	428
20.7.4	Wahl des Riementyps	429
20.7.5	Berechnung der Riemenanzahl	430
20.7.6	Bestimmung der Vorspannwerte - Wellenbelastung	431
20.7.7	Vorspannen von Keilriemen und Keilrippenriemen	432
20.7.8	Riemenvorspannkennlinien	433
20.8	Einsatzgebiete in der Praxis	434
20.9	Bewertbare Eigenschaften von Riemengetrieben	435
21	Zugmittelgetriebe - Zahnriemengetriebe	437
21.1	Aufbau und Eigenschaften	437
21.2	Dimensionierung	441
21.3	Vorspannung	442
22	Kupplungen und Bremsen	445
22.1	Einteilung	445
22.2	Ausgleichskupplungen	445
22.2.1	Drehsteife Ausgleichskupplungen	445
22.2.2	Drehelastische Ausgleichskupplungen	447
22.2.3	Berechnung der drehelastischen Kupplungen	448
22.3	Fremdgeschaltete Schaltkupplungen	452
22.3.1	Berechnung des Schaltvorgangs	453
22.4	Automatisch schaltende Kupplungen	458
22.4.1	Überlast- und Sicherheitskupplungen	458
22.4.2	Freiläufe	459
22.5	Trommelbremsen	461
22.6	Scheibenbremsen	462
23	Wälzlagerungen	466
23.1	Grundlagen und Einteilung	466
23. . 1	Entwicklung der Wälzlagertechnik	466
23. . 2	Darstellung der Rollreibung	467
23. . 3	Beschreibung der Wälzlagerbauarten	467
23. . 4	Einreihige Rillenkugellager	468
23. . 5	Gehäuselager	468
23. . 6	Zweireihige Rillenkugellager	469
23. . 7	Schulterkugellager	469
23. . 8	Einreihige Schrägkugellager	469
23. . 9	Zweireihige Schrägkugellager	469
23. . 10	Vierpunktlager	470

23.	.11	Pendelkugellager.	470
23.	.12	Zylinderrollenlager.	470
23.	.13	Nadellager.	471
23.	.14	Kegelrollenlager.	472
23.	.15	Pendelrollenlager.	473
23.	.16	Axial-Rillenkugellager.	473
23.	.17	Axial-Pendelrollenlager.	474
23.1.	18	Verwendete Passungen und Lagerluft.	475
23.2		Wälzlagerwerkstoffe.	476
23.2.1		Werkstoffe für Wälzkörper und Ringe.	476
23.2.2		Funktion und Werkstoffe für Käfige.	478
23.3		Wälzlageranordnungen.	479
23.4		Berechnung der nominellen Lebensdauer.	482
23.4.1		Versagensmechanismus.	482
23.4.2		Festlegung der Lagerlebensdauer.	483
23.4.3		Statische Beanspruchung.	483
23.4.3.1		Statische Tragsicherheit S_Q	484
23.4.3.2		Statisch äquivalente Lagerbelastung P_o	485
23.4.4		Die dynamische Tragzahl C	485
23.4.5		Nominelle Lebensdauer L_{th}	485
23.4.5.1		Verwendung von Drehzahl- und Lebenslauffaktoren.	486
23.4.5.2		Dynamisch äquivalente Lagerbelastung P	487
23.4.5.3		Veränderliche Drehzahl und Belastung.	487
23.4.5.4		Mindestbelastungen von Wälzlagern.	488
23.5		Schmierung von Wälzlagern.	488
23.5.1		Aufgabe des Schmierstoffes.	488
23.5.2		Schmiervverfahren.	489
23.5.3		Öl-oder Fettschmierung.	489
23.5.4		Fettauswahl.	491
23.5.5		Fettkonsistenz.	491
23.5.6		Drehzahlgrenzen.	492
23.5.6.1		Reibungsmoment.	492
23.5.6.2		Thermische Bezugsdrehzahl.	492
23.5.6.3		Kinematisch zulässige Drehzahl.	493
23.5.6.4		Öldurchflusswiderstand.	494
23.5.6.5		Bemessung des Öl Ablaufes.	494
23.6		Erweiterte Lebensdauerberechnung.	495
23.6.1		EHD-Kontakt.	495
23.6.2		Praktische Durchführung der Berechnung.	497
24		Lineare Wälzführungen.	502
24.1		Einleitung.	502
24.2		Grundlagen.	502
24.3		Abmessungen von Profilschienenführungen.	504
24.4		Genauigkeiten von Profilschienenführungen.	505
24.5		Tragfähigkeit und nominelle Lebensdauer.	506

24.6	Vorspannung und Steifigkeit	509
24.7	Reibung	509
24.8	Schmierung	510
24.9	Montage und Anschlussgenauigkeiten	511
24.10	Auswahl von Führungen	513
24.10.1	Zweireihige Kugelumlaufleinheit	513
24.10.2	Vierreihige Kugelumlaufleinheit	513
24.10.3	Sechstreihige Kugelumlaufleinheit	513
24.10.4	Vierreihige Rollenumlaufleinheit	514
24.11	Geräuschreduktion	514
24.12	Dämpfung	515
24.13	Integration von Funktionen	517
25	Tribologie	519
25.1	Einführung	519
25.2	Tribotechnische Systeme (TTS)	519
25.3	Reibung, Reibungsarten, Reibungszustände und Reibungsmechanismen	522
25.4	Verschleiß, Verschleißverhalten, Verschleißmechanismen	524
25.5	Grundlagen der Schmierung	527
25.5.1	Vollschmierung	527
25.5.1.1	Hydrodynamische Schmierung	528
25.5.1.2	Elastohydrodynamische Schmierung	528
25.5.1.3	Hydrostatische Schmierung	529
25.5.2	Grenzschmierung	530
25.5.3	Teilschmierung	530
25.5.4	Trockenschmierung	530
25.6	Schmierstoffe	530
25.6.1	Schmieröle	531
25.6.2	Konsistente Schmierstoffe	532
25.6.3	Festschmierstoffe	533
25.6.4	Eigenschaften von Schmierstoffen	533
25.6.4.1	Viskosität	533
25.6.4.2	Konsistenz von Schmierfetten	536
26	Gleitlager	538
26.1	Aufgabe, Einteilung und Anwendungen	538
26.2	Wirkprinzipien	538
26.3	Bauarten	540
26.4	Werkstoffe	542
26.5	Gestaltung von Lagern und Lagerumgebung	543
26.6	Schmierung und Kühlung	543
26.7	Berechnung hydrodynamischer stationär belasteter Radialgleitlager	545
26.7.1	Tragfähigkeit, Reibung, Schmierstoffdurchsatz und Wärmebilanz	545
26.7.2	Betriebssicherheit	549
26.8	Hydrodynamische Axialgleitlager	549
26.9	Berechnung hydrostatischer Gleitlager	551

27	Dichtungen	553
27.1	Einleitung	553
27.2	Technische Dichtheit	554
27.3	Dichtungswerkstoffe	554
27.4	Dynamische Dichtungen	557
27.4.1	Grundlagen dynamischer Dichtungen	557
27.4.1.1	Elemente der dynamische Dichtung	557
27.4.1.2	Starrer und dynamischer Dichtspalt, hydrostatische und hydrodynamische Spaltbildung	558
27.4.2	Ausführungsformen und Einsatzbeispiele	559
27.4.2.1	Radialwellendichtringe (RWDR)	560
27.4.2.2	Gleitringdichtungen (GLRD)	564
27.4.2.3	Berührungsfreie Dichtungen	567
27.4.2.4	Hydraulikdichtungen	569
27.4.2.5	Pneumatikdichtungen	575
27.4.2.6	Bälge und Membranen	576
27.4.2.7	Schutzdichtungen	578
27.4.2.8	Drosseldichtungen für Flüssigkeiten und Gase	580
27.4.2.9	Dichtungen mit Sperrfluiden	581
27.5	Statische Dichtverbindungen	582
27.5.1	Grundlagen statischer Dichtverbindungen	582
27.5.2	Dichtungen im Krafthauptschluss	584
27.5.3	Dichtungen im Kraftnebenschluss	587
27.5.4	Sonderformen statischer Dichtverbindungen	590
28	Rohrleitungen	593
28.1	Vorschriften, Einstufung	593
28.2	Begriffe, Grundlagen	593
28.2.1	Bestandteile einer Rohrleitung	593
28.2.2	Nennweite DN und Nenndruck PN	594
28.2.3	Druck- und Temperaturangaben	595
28.2.4	Sinnbilder für Rohrleitungen	596
28.3	Planung von Rohrleitungen	596
28.3.1	Rohrleitungsabstände, Kreuzungen, Näherungen	596
28.3.2	Trassierungshinweise	597
28.3.3	Richtwerte für Gefälle	598
28.3.4	Anschlüsse an Aggregaten, Ausrüstungsteilen, Druckgeräten	599
28.3.5	Prüfgerechte Gestaltung	599
28.3.6	Hinweise zur Berücksichtigung der Instandhaltung	600
28.4	Werkstoffe	600
28.4.1	Einsatzbedingungen	600
28.4.2	Stahl	601
28.4.3	Gusswerkstoffe	601
28.4.4	Nichteisenmetalle	602
28.4.5	Nichtmetallische Werkstoffe	603

28.5	Rohre	603
28.5.1	Nahtlose Stahlrohre	603
28.5.2	Geschweißte Stahlrohre	603
28.5.3	Vorzugsabmessungen für nahtlose und geschweißte Stahlrohre	604
28.5.4	Rohre aus NE-Metallen	605
28.5.5	Rohre aus Kunststoffen	605
28.6	Rohrsysteme	605
28.6.1	Rohrsysteme aus Stahl	606
28.6.2	Rohrsysteme aus Kunststoffen	607
28.6.3	Rohrsysteme aus sonstigen Werkstoffen	607
28.6.4	Verbundmantelrohrsysteme (Kunststoffmantelrohr-System KMR)	608
28.7	Nicht lösbare Rohrverbindungen	608
28.7.1	Einteilung	608
28.7.2	Dauerhafte Rohrverbindungen	608
28.7.3	Schweißverbindungen für Metalle	609
28.7.4	Dauerhafte Rohrverbindungen für Kunststoffe	611
28.7.5	Demontierbare Rohrverbindungen	611
28.8	Lösbare Rohrverbindungen	612
28.8.1	Flanschverbindungen	612
28.8.2	Verschraubungen	614
28.8.3	Kupplungen	614
28.8.4	Sonstige lösbare Verbindungen	615
28.9	Formstücke aus Stahl	616
28.9.1	Allgemeines	616
28.9.2	Bogen, Biegungen	616
28.9.3	Segmentschnitte, Segmentkrümmer	618
28.9.4	Abzweige, T-Stücke	618
28.9.5	Reduzierungen	619
28.9.6	Böden (Kappen)	619
28.10	Dehnungsausgleich	620
28.10.1	Größe der Wärmedehnungen	620
28.10.2	Natürlicher Dehnungsausgleich	621
28.10.3	Künstlicher Dehnungsausgleich (Kompensatoren)	621
28.11	Armaturen	623
28.11.1	Einteilung	623
28.11.2	Stellantriebe für Armaturen	623
28.11.3	Auswahl der Armaturen	624
28.12	Halterungen	626
28.12.1	Aufgabe, Bestandteile	626
28.12.2	Arten von Lagerstellen	626
28.13	Dämmungen	628
28.13.1	Bestandteile	628
28.13.2	Dämmstoff	629
28.13.3	Stütz- und Tragkonstruktion	630
28.13.4	Ummantelung (Mantel)	630
28.14	Kennzeichnung	630

28.14.1	Herstellerschild . . . . .	.630
28.14.2	Anlagenkennzeichnung. . . . .	.631
28.14.3	Warnschilder (Sicherheitskennzeichen). . . . .	.631
28.14.4	Gefahrenkennzeichnung . . . . .	.631
28.15	Ermittlung des Innendurchmessers. . . . .	.631
28.16	Festigkeitsberechnungen. . . . .	.633
28.16.1	Erforderliche Wanddicke für das gerade Rohr. . . . .	.633
28.16.2	Wanddicke von Formstücken. . . . .	.634
28.16.3	Flanschverbindungen. . . . .	.634
29	Maschinenakustik . . . . .	.637
29.1	Wichtige Begriffe und Definitionen. . . . .	.639
29.1.1	Akustische und mechanische Begriffe. . . . .	.639
29.1.2	Pegelrechnung . . . . .	.644
29.1.3	Schallabstrahlung von Schallquellen. . . . .	.645
29.1.4	SchalleLeistungsbestimmung. . . . .	.646
29.1.4.1	SchalleLeistungsbestimmung im idealen Frei- oder Hallfeld und in realen Feldern . . . . .	.646
29.1.4.2	SchalleLeistungsbestimmung nach dem Vergleichsverfahren . . . . .	.650
29.1.4.3	Schallintensitätsmessverfahren. . . . .	.650
29.1.5	Strahlerarten und Entfernungsgesetze. . . . .	.651
29.2	Maschinenakustische Zusammenhänge. . . . .	.653
29.2.1	Entstehung von Maschinengeräuschen. . . . .	.653
29.2.2	Maschinenakustische Grundgleichung . . . . .	.655
29.3	Konstruktive Geräuschminderung. . . . .	.659
29.3.1	Grundsätzliche Überlegungen. . . . .	.659
29.3.2	Beispiele für charakteristische Geräusch- minderungsmaßnahmen. . . . .	.662
29.3.2.1	Reduzierung der dynamischen Anregungskraft. . . . .	.662
29.3.2.2	Beispiele zur Erhöhung der Eingangsimpedanz. . . . .	.672
29.3.2.3	Beispiele für die Reduzierung des Körperschall-Transferverhaltens. . . . .	.677
	Sachwortverzeichnis. . . . .	.683