

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

4	Bezeichnung von Werkstoffen	62
4.1	Werkstoffauswahl	62
4.2	Stahl – Eigenschaften und Bezeichnung	63
4.2.1	Bezeichnung nach europäischer Norm (DIN EN 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 DIN EN 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
5	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

	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		Mehrachsiger 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	Bemäßung 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	Klebeverbindungen	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	Vorbehandlung der Fügeteile	196
9.5	Fertigungstechnik Kleben	197
9.6	Eigenschaften der Klebeverbindungen	198
9.7	Prüfen von Klebeverbindungen	201
9.8	Berechnung von Klebeverbindungen	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 Fügetemperaturen	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
13.3.2.1	Querstiftverbindungen	242
13.3.2.2	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 Unterlegelemente	277
14.7.8	Verliersicherungen	278
14.7.9	Losdreh Sicherungen	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-Schraubenverbindungen	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		<i>Einfluss der Arbeitstemperatur</i>	297
	15.3.5.1	Verhalten bei erhöhten Arbeits- temperaturen	297
	15.3.5.2	Verhalten bei tiefen Betriebstemperaturen	298
15.4		<i>Berechnung</i>	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	Grübenchentragfähigkeit 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_b	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
23.1.1	Entwicklung der Wälzlagertechnik	466
23.1.2	Darstellung der Rollreibung.	467
23.1.3	Beschreibung der Wälzlagerbauarten	467
23.1.4	Einreihige Rillenkugellager	468
23.1.5	Gehäuselager	468
23.1.6	Zweireihige Rillenkugellager	469
23.1.7	Schulterkugellager	469
23.1.8	Einreihige Schrägkugellager	469
23.1.9	Zweireihige Schrägkugellager	469
23.1.10	Vierpunktlager	470

23.1.11	Pendelkugellager	470
23.1.12	Zylinderrollenlager	470
23.1.13	Nadellager.	471
23.1.14	Kegelrollenlager.	472
23.1.15	Pendelrollenlager	473
23.1.16	Axial-Rillenkugellager	473
23.1.17	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_0	484
23.4.3.2	Statisch äquivalente Lagerbelastung P_0	485
23.4.4	Die dynamische Tragzahl C	485
23.4.5	Nominelle Lebensdauer L_{h10}	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	Schmierv Verfahren	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 Ölablaufes	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 Kugelumlaufeinheit	513
24.10.2	Vierrehige Kugelumlaufeinheit	513
24.10.3	Sechshige Kugelumlaufeinheit	513
24.10.4	Vierrehige Rollenumlaufeinheit	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	Schallleistungsbestimmung	646
29.1.4.1	Schallleistungsbestimmung im idealen Frei- oder Hallfeld und in realen Feldern	646
29.1.4.2	Schallleistungsbestimmung 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 Geräuschkürzung	659
29.3.1	Grundsätzliche Überlegungen.	659
29.3.2	Beispiele für charakteristische Geräusch- kürzungsmaßnahmen.	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