



Berthold Schlecht

Maschinenelemente 1

**Festigkeit, Wellen, Verbindungen,
Federn, Kupplungen**



PEARSON

Studium

ein Imprint von **Pearson Education**
München • Boston • San Francisco • London
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Inhaltsverzeichnis

Zum Geleit	13
Kapitel 1 Maschinenelemente und Konstruktion	15
1.1 Einführung - Formulierung der konstruktiven Aufgabe	16
1.2 Ausgewählte Beispiele technischer Systeme	18
1.3 Versagensursachen von Maschinenelementen	22
1.4 Berechnung von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit	26
1.4.1 Lastannahmen bei dynamischer Beanspruchung (Schwingbeanspruchung)	29
1.4.2 Lastannahmen bei statischer Beanspruchung (Maximalbeanspruchung)	38
1.5 Wirtschaftliche Bedeutung der Konstruktion und Methodisches Konstruieren	40
1.6 Literatur	44
Kapitel 2 Normen, Toleranzen, Passungen und Oberflächen	49
2.1 Einführung	50
2.2 Normen, Richtlinien und Standards	51
2.3 Normzahlen	52
2.4 Toleranzen und Abweichungen	53
2.4.1 Maßtoleranzen	54
2.4.2 Form- und Lagetoleranzen	58
2.4.3 Allgemeintoleranzen	61
2.4.4 Tolerierungsgrundsätze	63
2.5 Passungen	65
2.5.1 System Einheitsbohrung (EB)	66
2.5.2 System Einheitswelle (EW)	67
2.5.3 Beispiele zur Passungsauswahl	67
2.6 Oberflächen technischer Körper	69
2.7 Literatur	78
Kapitel 3 Grundlagen der Festigkeitslehre	81
3.1 Einführung	82
3.2 Gang und Schema einer Festigkeitsberechnung	84
3.3 Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen	87
3.3.1 Linear-elastisches Werkstoffverhalten	89
3.3.2 Normalspannungen in Bauteilen - Zug, Druck und Biegung	95
3.3.3 Normalspannungen zwischen Flächen - Flächenpressung	102
3.3.4 Hertzsche Pressung	103
3.3.5 Schubspannungen aus Querkraften - Scheren und Schub	109
3.3.6 Schubspannungen aus Drehmomenten - Torsion	111

3.3.7	Knickspannungen	114
3.3.8	Wärmespannungen	118
3.3.9	Eigenspannungen	121
3.4	Behandlung zusammengesetzter Beanspruchungen	125
3.4.1	Der lineare oder einachsige Spannungszustand	126
3.4.2	Der ebene oder zweiachsige Spannungszustand	129
3.4.3	Der räumliche oder dreiachsige Spannungszustand	131
3.4.4	Festigkeitshypothesen bei zusammengesetzter Beanspruchung	132
3.5	Ermittlung der Beanspruchbarkeit	139
3.5.1	Beanspruchbarkeit bei statischer Belastung	139
3.5.2	Beanspruchbarkeit bei dynamischer Belastung	146
3.6	Festigkeitsmindernde Einflüsse - Kerbwirkung, Oberflächen- und Größeneinfluss	160
3.6.1	Die Kerbformzahlen a_a und a_r	161
3.6.2	Die Kerbwirkungszahlen β_a und β_r	171
3.6.3	Oberflächen- und Größeneinfluss	179
3.6.4	Weitere schwingfestigkeitsmindernde Einflüsse	182
3.7	Festigkeitsberechnung - Vergleich von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit	183
3.7.1	Statischer Festigkeitsnachweis	186
3.7.2	Dauerfestigkeitsnachweis	186
3.7.3	Kritische Anmerkungen zur Sicherheitszahl	190
3.7.4	Betriebsfestigkeitsnachweis	192
3.7.5	Zulässige Flächenpressung und Hertz'sche Pressung	204
3.8	Festigkeitsnachweise in Normen und Richtlinien	208
3.9	Literatur	211
Kapitel 4 Kleben		219
4.1	Einführung	220
4.2	Funktion und Wirkung - Adhäsion und Kohäsion	222
4.3	Herstellen von Klebverbindungen	223
4.3.1	Einteilung der Klebstoffe	224
4.3.2	Klebtechnik und Oberflächenvorbehandlung	226
4.4	Gestaltung von Klebverbindungen	227
4.5	Festigkeit von Klebverbindungen	229
4.5.1	Berechnung der Beanspruchung in einer einschnittigen Verbindung	231
4.5.2	Berechnung der Beanspruchung in Rundverbindungen und Welle-Nabe-Verbindungen	237
4.5.3	Beanspruchbarkeit einer Klebverbindung	238
4.5.4	Einflüsse auf die Festigkeit	241
4.6	Literatur	243
Kapitel 5 Löten		245
5.1	Einführung	246
5.2	Funktion und Wirkung	248



5.3	Herstellen und Prüfen von Lötverbindungen	248
5.3.1	Lötverfahren	250
5.3.2	Lotarten und Flussmittel	251
5.4	Gestaltung von Lötverbindungen	253
5.5	Festigkeit von Lötverbindungen	256
5.5.1	Berechnung der Beanspruchung in einer Lötverbindung	257
5.5.2	Beanspruchbarkeit einer Lötverbindung	258
5.6	Literatur	261
Kapitel 6 Nieten		263
6.1	Einführung	264
6.2	Funktion und Wirkung	265
6.2.1	Nietformen und Werkstoffe	266
6.2.2	Herstellung einer Nietverbindung	267
6.2.3	Verbindungsarten und Schnittigkeit	270
6.3	Gestaltung von Nietverbindungen	271
6.3.1	Maschinen- und Gerätebau	273
6.3.2	Stahl- und Kranbau	274
6.3.3	Leichtbau, Fahrzeug- und Flugzeugbau	275
6.3.4	Korrosionsschutz	276
6.4	Festigkeit von Nietverbindungen	276
6.4.1	Kräfte in Nietverbindungen	278
6.4.2	Berechnung der Beanspruchungen in Nietverbindungen	281
6.4.3	Beanspruchbarkeit einer Nietverbindung	282
6.5	Literatur	286
Kapitel 7 Schweißen		289
7.1	Einführung	290
7.2	Funktion und Wirkung	292
7.3	Herstellen und Prüfen von Schweißverbindungen	293
7.3.1	Schweißverfahren	294
7.3.2	Schweißbeignung der Werkstoffe	300
7.3.3	Schweißpositionen	303
7.3.4	Stoß- und Nahtarten sowie Nahtformen beim Schmelzschweißen	303
7.3.5	Stoß- und Nahtarten sowie Nahtformen beim Pressschweißen	309
7.3.6	Gütesicherung von Schweißnähten	311
7.4	Gestaltung von Schweißverbindungen	313
7.4.1	Allgemeine Gestaltungsregeln	314
7.4.2	Gestaltungsregeln im Stahlhoch-, Kran- und Brückenbau	323
7.4.3	Gestaltungsregeln im Kessel- und Druckbehälterbau	326
7.4.4	Gestaltungsregeln für Pressschweißverbindungen	327
7.5	Festigkeit von Schweißverbindungen	328
7.5.1	Festigkeitsnachweis im allgemeinen Maschinenbau	331
7.5.2	Festigkeitsnachweis nach DIN 15018	344
7.5.3	Festigkeitsnachweis von Pressschweißverbindungen	353
7.6	Literatur	357

o i.

Kapitel 8	Schrauben und Schraubenverbindungen	361
8.1	Einführung	362
8.2	Funktion und Wirkung	363
8.2.1	Gewindearten und Gewindebezeichnungen	364
8.2.2	Schrauben- und Mutternwerkstoffe sowie Herstellung	368
8.2.3	Grundformen von Schrauben, Muttern und Sicherungen	372
8.3	Kräfte und Momente im Gewinde	379
8.4	Gestaltung und Beanspruchung von Schraubenverbindungen	383
8.4.1	Gestaltung der Gewindeteile	384
8.4.2	Gestaltung der Schraubenverbindungen	386
8.4.3	Grundlagen zur Berechnung von Schraubenverbindungen	392
8.4.4	Kräfte und Verformungen bei statischer Betriebskraft als Längskraft	396
8.4.5	Kräfte und Verformungen bei dynamischer Betriebskraft als Längskraft	398
8.4.6	Einfluss der Krafteinleitung in die Verbindung	399
8.4.7	Kräfte und Verformungen bei Verwendung von Dehnschrauben	400
8.4.8	Setzen der Verbindung	401
8.4.9	Kräfte und Verformungen bei statischer oder dynamischer Querkraft	403
8.4.10	Sichern von Schraubenverbindungen	409
8.5	Montage von Schraubenverbindungen	411
8.5.1	Streuung der Montagevorspannkraft beim Anziehen	411
8.5.2	Kräfte und Momente beim Anziehen und Lösen	414
8.6	Festigkeit von Schraubenverbindungen	415
8.6.1	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Berechnung	417
8.6.2	Überschlägige Schraubenberechnung nach VDI 2230	417
8.6.3	Schraubenauswahl und Beanspruchbarkeit im Maschinenbau	418
8.6.4	Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft	422
8.6.5	Einhaltung der maximal zulässigen Dauerschwingbeanspruchung	423
8.6.6	Einhaltung der Flächenpressung an der Schraubenkopf- und Mutterauflagefläche sowie im Gewinde	425
8.6.7	Beanspruchbarkeit von Schrauben im Kran- und Stahlbau	427
8.6.8	Konstruktive Maßnahmen zur Steigerung der Dauerfestigkeit	429
8.7	Bewegungsschrauben und Spindeln	431
8.7.1	Kinematik der Bewegungsschraube	433
8.7.2	Auslegung und Berechnung von Spindel und Mutter	434
8.8	Literatur	437
Kapitel 9	Stift-, Bolzenverbindungen und Sicherungselemente	443
9.1	Einführung	444
9.2	Funktion und Wirkung	444
9.2.1	Stifte - Bauformen, Werkstoffe, Normen und Einsatzbeispiele	444
9.2.2	Bolzen - Bauformen, Werkstoffe, Normen und Einsatzbeispiele	450
9.2.3	Sicherungselemente - Bauformen, Werkstoffe, Normen und Einsatzbeispiele	451



9.3	Beanspruchung von Stift-, Bolzenverbindungen sowie Sicherungselementen.	454
9.3.1	Stiftverbindungen.	454
9.3.2	Bolzenverbindungen.	457
9.3.3	Sicherungselemente.	462
9.4	Festigkeit von Stift-, Bolzenverbindungen sowie Sicherungselementen. . .	463
9.4.1	Beanspruchbarkeit von Stift- und Bolzenverbindungen.	463
9.4.2	Beanspruchbarkeit von Sicherungselementen.	466
9.5	Literatur.	466
Kapitel 10 Federn		469
10.1	Einführung	470
10.2	Funktion und Wirkung von Federn.	473
10.2.1	Federkennlinie und Federrate.	475
10.2.2	Arbeitsvermögen und Wirkungsgrad.	476
10.2.3	Nutzungsgrad.	477
10.2.4	Dämpfungsvermögen.	479
10.2.5	Zusammenschaltung von Federn.	480
10.2.6	Metallische Werkstoffe für Federn.	482
10.2.7	Nichtmetallische Werkstoffe für Federn.	483
10.3	Gestaltung und Beanspruchung von Federn.	485
10.3.1	Zug-Druckfedern.	486
10.3.2	Biegefedern.	493
10.3.3	Torsions-(Dehnungs-)federn.	507
10.3.4	Gummifedern.	520
10.4	Festigkeit von Federn.	527
10.4.1	Beanspruchbarkeit von Metallfedern.	528
10.4.2	Beanspruchbarkeit von Gummifedern.	535
10.5	Literatur.	536
Kapitel 11 Wellen und Achsen		539
11.1	Einführung.	540
11.2	Funktion und Wirkung	541
11.2.1	Bauformen von Wellen und Achsen.	543
11.2.2	Werkstoffe, Halbzeuge und Herstellung.	548
11.3	Gestaltung und Berechnung von Wellen und Achsen.	549
11.3.1	Beanspruchungs- und verformungsgerechte Gestaltung.	551
11.3.2	Angreifende Kräfte und Momente.	557
11.3.3	Entwurfsberechnung - Überschlägiger Wellendurchmesser.	562
11.4	Festigkeit von Wellen und Achsen.	564
11.4.1	Nachweis der Sicherheit gegen Überschreiten der Dauerfestigkeit	566
11.4.2	Nachweis der Sicherheit gegen Überschreiten der Fließgrenze und Gewaltbruch.	580
11.4.3	Nachweis der Einhaltung der zulässigen Flächenpressung und Scherspannung.	587
11.4.4	Nachweis der Einhaltung der zulässigen Verformung	587

11.5	Dynamisches Verhalten \on Wellen und Achsen	592
11.5.1	Biegeschwingungen	592
11.5.2	Torsionsschwingungen	596
11.5.3	Auswuchten	601
11.6	Literatur	603
Kapitel 12	Welle-Nabe-Verbindungen	609
12.1	Einleitung, Funktion und Wirkung	610
12.2	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	614
12.2.1	Passfedern und Scheibenfedern	614
12.2.2	Keilwellen- und Zahnwellenverbindungen	617
12.2.3	Polygonwellenverbindungen	620
12.2.4	Stirnzahnverbindung	623
12.3	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	623
12.3.1	Zylindrische Pressverbindungen	627
12.3.2	Konische Pressverbindungen (Kegelpressverbindungen)	638
12.3.3	Gestaltung von Pressverbindungen	642
12.3.4	Klemmverbindungen	645
12.4	Vorgespannte Formschlussverbindungen	648
12.4.1	Längskeilverbindungen	648
12.4.2	Weitere Keilverbindungen	650
12.5	Spannelementverbindungen	651
12.5.1	Ringkegel-Spannelemente, Spannsätze und Schrumpfscheiben	651
12.5.2	Sternscheiben, Druckhülsen und Toleranzringe	656
12.5.3	Hydraulische Spannbuchsen	657
12.6	Festigkeitsabfall in Welle-Nabe-Verbindungen	658
12.7	Literatur	658
Kapitel 13	Kupplungen und Bremsen	663
13.1	Einführung	664
13.2	Funktion und Wirkung	664
13.3	Berechnungsgrundlagen zur Auslegung von Kupplungen und Bremsen.	670
13.3.1	Betriebsverhalten von Antriebsmaschine, Kupplung und Arbeitsmaschine	670
13.3.2	Auslegung von nicht schaltbaren Kupplungen	673
13.3.3	Auslegung von schaltbaren Kupplungen	679
13.3.4	Auslegung von mechanischen Bremsen	683
13.4	Bauarten von nichtschaltbaren Kupplungen	686
13.4.1	Starre Kupplungen	686
13.4.2	Nachgiebige Wellenkupplungen	688
13.5	Bauarten von schaltbaren Kupplungen	708
13.5.1	Fremdbetätigte Kupplungen	708
13.5.2	Selbsttätig schaltende Kupplungen	711
13.6	Bauarten von Bremsen	715
13.6.1	Trommelbremsen (Backenbremsen)	715
13.6.2	Scheibenbremsen und Kegelbremsen	718
13.7	Literatur	721
Register		725