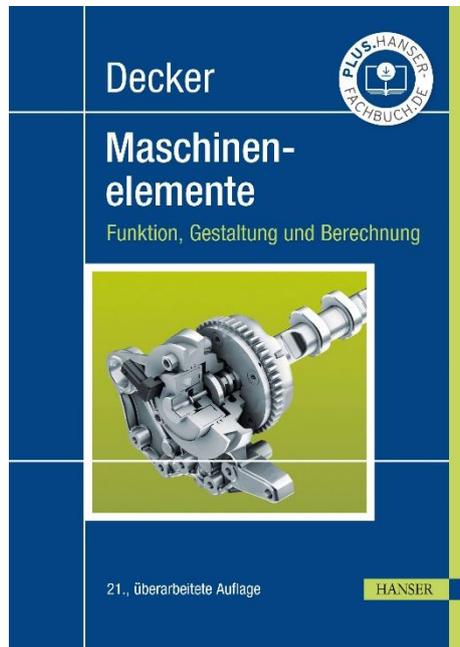


HANSER



Leseprobe

zu

Decker

Maschinenelemente

Bearbeitet von Frank Rieg, Frank Weidemann, Gerhard Engelken, Reinhard Hackenschmidt, Bettina Alber-Laukant und Stephan Tremmel

Print-ISBN: 978-3-446-47230-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-47339-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446472303>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XIII
Hinweise zur Benutzung des Buches	XV
Teil 1: Grundlagen	1
1 Konstruktionstechnik	2
1.1 Normen und Richtlinien	2
1.2 Maße, Toleranzen und Passungen	4
1.3 Gestaltabweichungen der Oberflächen	19
1.4 Methodisches Konstruieren	27
1.5 Datenverarbeitung in der Konstruktion	42
1.6 Verständnisfragen	46
2 Werkstoffe	50
2.1 Einteilung der Werkstoffe	51
2.2 Werkstoffauswahl	54
2.3 Werkstoffe im Maschinenbau	55
2.4 Berechnung von Maschinenelementen	66
2.5 Welche Werkstoffkennwerte wofür verwenden?	71
2.6 Verständnisfragen	73
3 Festigkeitsberechnungen	74
3.1 Einführung	74
3.2 Betriebsfestigkeit nach der FKM-Richtlinie	116
3.3 Einführung in die Finite-Elemente-Analyse	151
3.4 Verständnisfragen	165
Teil 2: Nichtlösbare Verbindungen	167
4 Schmelzschweißverbindungen	168
4.1 Verfahren	169
4.2 Schweißbare Werkstoffe	180
4.3 Schweißpositionen, Stoß- und Nahtarten, Zertifizierung im Metallbau	181

4.4	Gestaltung	190
4.5	Berechnung der Spannungen in Schweißnähten	192
4.6	Schweißverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	207
4.7	Verständnisfragen	213
5	Pressschweißverbindungen	215
5.1	Verfahren, Werkstoffe	215
5.2	Punktschweißverbindungen	220
5.3	Buckelschweißverbindungen	225
5.4	Abtrenn-Stumpfschweißverbindungen	228
5.5	Schweißen von Kunststoffen	229
5.6	Verständnisfragen	232
6	Lötverbindungen	233
6.1	Verfahren, Lote	233
6.2	Gestaltung von Lötverbindungen	239
6.3	Berechnung von Lötverbindungen	241
6.4	Verständnisfragen	244
7	Klebverbindungen	245
7.1	Wirkmechanismen	245
7.2	Klebstoffe	248
7.3	Gestaltung und Festigkeit der Klebverbindungen	249
7.4	Berechnung von Klebverbindungen	253
7.5	Verständnisfragen	258
8	Nietverbindungen	260
8.1	Nietformen, Werkstoffe, Herstellung der Verbindungen	260
8.2	Berechnung von Nietverbindungen	263
8.3	Nietverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	268
8.4	Nietverbindungen im Leichtmetallbau	271
8.5	Stanznieten	276
8.6	Hybridfügen – Stanznietkleben	278
8.7	Verständnisfragen	278
Teil 3: Lösbare Verbindungen		281
9	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	282
9.1	Zylindrische Pressverbände	282
9.1.1	Fügevorgang und Gestaltung	282
9.1.2	Grundlagen der Berechnung zylindrischer Pressverbände	285
9.1.3	Berechnung bei rein elastischer Beanspruchung	289
9.1.4	Berechnung bei elastisch-plastischer Beanspruchung	301
9.1.5	Einpresskraft und Füge­temperat­uren	305
9.2	Spannelementverbindungen	306

9.2.1	Kegelspannsysteme	306
9.2.2	Systeme mit federnden Zwischenelementen	312
9.3	Klemmverbindungen	315
9.4	Verständnisfragen	317
10	Befestigungsschrauben	319
10.1	Gewinde	319
10.2	Ausführung von Schrauben und Muttern	322
10.3	Werkstoffe	327
10.4	Korrosionsschutz	330
10.5	Herstellung der Schrauben und Muttern	331
10.6	Sichern von Schraubenverbindungen	332
10.7	Berechnung: Grundlagen und Verbindungsarten	335
10.8	Berechnung: Vordimensionierung und Überschlag	336
10.9	Berechnung: Kraftfluss, Kerbwirkungen, Gestaltung	338
10.10	Anziehverfahren	340
10.11	Berechnung: Schraubenanziehmoment, Schraubenbeanspruchung beim Anziehen, Anziehungsfaktor	342
10.12	Berechnung: Nachgiebigkeit von Schraube und Bauteilen	347
10.13	Berechnung: Bleibende Verformung durch Setzen	350
10.14	Berechnung: Betriebskräfte Zug, Druck und Schwingungen auf vorgespannte Schraubenverbindungen	352
10.15	Berechnung: Haltbarkeit der Schraubenverbindungen	359
10.16	Systematische Berechnung längsbeanspruchter Schraubenverbindungen	361
10.17	Gestaltung und Berechnung querbeanspruchter Schraubenverbindungen	365
10.18	Spezialschrauben	369
10.19	Verständnisfragen	371
11	Bewegungsschrauben	374
11.1	Bauformen	374
11.2	Gewinde, Werkstoffe	375
11.3	Kräfte, Reibung, Wirkungsgrad, Selbsthemmung	376
11.4	Berechnung der Haltbarkeit und der Stabilität	379
11.5	Kugelgewindetrieb	381
11.6	Verständnisfragen	384
12	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	385
12.1	Längskeilverbindungen	385
12.2	Passfederverbindungen	388
12.3	Keilwellenverbindungen	392
12.4	Zahnwellenverbindungen	394
12.5	Polygonwellenverbindungen	395

12.6	Kegelverbindungen	397
12.7	Stirnzahnverbindungen	401
12.8	Verständnisfragen	402
13	Stift- und Bolzenverbindungen	404
13.1	Stifte	404
13.2	Bolzen	407
13.3	Festigkeitsberechnung	409
13.4	Verständnisfragen	415
14	Federn	416
14.1	Kennlinien, Federarbeit	416
14.2	Schwingverhalten	418
14.3	Zusammenwirken mehrerer Federn	419
14.4	Werkstoffe, Halbzeuge	421
14.5	Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten oder Stäben	421
14.6	Tellerfedern als Druckfedern	436
14.7	Gewundene Schenkelfedern als Drehfedern	447
14.8	Stabfedern als Drehfedern	453
14.9	Spiralfedern als Drehfedern	456
14.10	Blattfedern als Biegefedern	459
14.11	Ringfedern als Druckfedern	461
14.12	Luftfedern	464
14.13	Weitere Metallfedern	466
14.14	Gummifedern	469
14.15	Verständnisfragen	472
Teil 4:	Drehbewegungselemente	475
15	Achsen und Wellen	476
15.1	Werkstoffe, Gestaltung	477
15.2	Biegemomente, Längskräfte und Torsionsmomente	479
15.3	Überschlagsberechnung auf Torsion und Biegung	484
15.4	Achsen und Wellen gleicher Biegebeanspruchung	486
15.5	Berechnung auf Gestaltfestigkeit (Dauerhaltbarkeit)	488
15.6	Durchbiegung	497
15.7	Verdrehwinkel	528
15.8	Kritische Drehzahlen	529
15.9	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen nach DIN 743	533
15.10	Verständnisfragen	546
16	Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß	548
16.1	Reibung	548
16.2	Verschleiß	551

16.3	Schmierstoffe (Übersicht)	553
16.4	Schmieröle	554
16.5	Schmierfette	562
16.6	Schmierpasten	564
16.7	Schmierwachse	564
16.8	Festschmierstoffe	565
16.9	Gleitlacke	565
16.10	Verständnisfragen	566
17	Gleitlager	569
17.1	Hydrostatisch und hydrodynamisch geschmierte Gleitlager, Mehrflächenlager, Grenzschichtschmierung	569
17.2	Schmierstoffzufuhr, Schmiersysteme	573
17.3	Abweichungen von der Lagergeometrie	579
17.4	Gleitwerkstoffe	581
17.5	Wärmewirkungen, Kühlung	590
17.6	Gestaltung der Radiallager	591
17.7	Berechnung der hydrodynamisch geschmierten Radiallager	597
17.8	Gestaltung der Axiallager	618
17.9	Berechnung der Axiallager	621
17.10	Wartungsfreie Gleitlager	627
17.11	Verständnisfragen	628
18	Wälzlager	631
18.1	Aufbau, Kennzeichen	631
18.2	Belastungsmöglichkeiten, Einbaurichtlinien	635
18.3	Besondere Ausführungen von Wälzlagern	643
18.4	Tragfähigkeit und Lebensdauer	645
18.5	Belastung von Kegelrollen- und Schrägkugellagern	651
18.6	Besondere Belastungsfälle	654
18.7	Grenzdrehzahl	655
18.8	Schmierung der Wälzlager	656
18.9	Verständnisfragen	659
19	Lager- und Wellendichtungen	662
19.1	Schleifende Dichtungen	662
19.2	Berührungsfreie Dichtungen	669
19.3	Verständnisfragen	672
20	Wellenkupplungen und -bremsen	673
20.1	Einteilung der Wellenkupplungen	673
20.2	Starre Kupplungen	674
20.3	Drehsteife Ausgleichkupplungen	675
20.4	Formschlüssig nachgiebige, drehelastische Wellenkupplungen	681

20.5	Kraftschlüssig drehnachgiebige Kupplungen	697
20.6	Formschlüssige Schaltkupplungen	699
20.7	Reibkupplungen als kraftschlüssige Schaltkupplungen	702
20.8	Fliehkraftkupplungen als drehzahlbetätigte Kupplungen	717
20.9	Momentbetätigte Kupplungen als Sicherheitskupplungen	718
20.10	Richtungsbetätigte Kupplungen als Freilaufkupplungen	721
20.11	Bremsen	726
20.12	Mehrmassen-Torsionsschwinger	732
20.13	Verständnisfragen	738
Teil 5: Zahnräder		741
21	Grundlagen für Zahnräder und Getriebe	742
21.1	Rad- und Getriebearten	742
21.2	Verzahnungsgesetz	746
21.3	Zykloidenverzahnung	750
21.4	Evolventenverzahnung	752
21.5	Berechnung von Planetengetrieben	757
21.6	Verständnisfragen	777
22	Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder	778
22.1	Null-Außenverzahnung	778
22.2	Planverzahnung, Bezugsprofil	780
22.3	Null-Innenverzahnung	781
22.4	Null-Schrägverzahnung	782
22.5	Profilverschiebung	787
22.6	Geometrische Grenzen	792
22.7	Profilüberdeckung	795
22.8	Geradverzahnte Kegelräder	798
22.9	Schräg- und bogenverzahnte Kegelräder	805
22.10	Verständnisfragen	809
23	Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder	811
23.1	Zahnkräfte an Stirnrädern	811
23.2	Zahnkräfte an Kegelrädern	814
23.3	Reibung, Wirkungsgrad, Übersetzung	818
23.4	Gestaltung der Räder aus Stahl und aus Gusseisen	822
23.5	Gestaltung der Räder aus Kunststoffen	827
23.6	Verzahnpasssysteme, Verzahnungsqualität	830
23.7	Schmierung, Schmierstoffe	833
23.8	Begriffe der Tragfähigkeit	836
23.9	Allgemeine Einflussfaktoren	839
23.10	Zahnfußtragfähigkeit der Stirnräder	844
23.11	Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit der Stirnräder	847

23.12	Zahnfußtragfähigkeit der Kegelräder	850
23.13	Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit der Kegelräder	853
23.14	Berechnung der Räder aus thermoplastischen Kunststoffen auf Tragfähigkeit und Verformung	855
23.15	Laufgeräusche, Ausführung von Getrieben	861
23.16	Verständnisfragen	865
24	Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen	867
24.1	Eingriffsverhältnisse von Schraub-Stirnradpaaren	867
24.2	Zahnkräfte und Wirkungsgrad an Schraub-Stirnradpaaren	869
24.3	Tragfähigkeit von Schraub-Stirnradpaaren, Schmierung	872
24.4	Hyperboloid- und Hypoid-Schraubradpaare	874
24.5	Geometrie der Schneckenradsätze	875
24.6	Zahnkräfte und Wirkungsgrad an Schneckenradsätzen	881
24.7	Gestaltung der Schnecken und Schneckenräder	884
24.8	Schmierung und Verzahnungsqualität von Schneckenradsätzen	887
24.9	Tragfähigkeit von Schneckenradsätzen	889
24.10	Ausführung von Schneckengetrieben	890
24.11	Verständnisfragen	892
Teil 6:	Hülltriebe	893
25	Kettentriebe	894
25.1	Anordnung von Kettentrieben	894
25.2	Kettenarten, Endverbindung	896
25.3	Kettenräder	900
25.4	Spann- und Führungseinrichtungen	904
25.5	Auswahl von Rollenketten und deren Berechnung	906
25.6	Schmierung der Kettentriebe	910
25.7	Verständnisfragen	912
26	Flachriementriebe	913
26.1	Theoretische Grundlage für Riementriebe	913
26.2	Vorspannmöglichkeiten, Triebarten	916
26.3	Riemenwerkstoffe, Endverbindung	919
26.4	Riemenscheiben	920
26.5	Geometrie der Flachriementriebe	924
26.6	Übersetzung, Riemengeschwindigkeit, Biegefrequenz	926
26.7	Berechnung der Antriebe mit Leder- und Geweberiemen	927
26.8	Berechnung von Antrieben mit Mehrschichtriemen	932
26.9	Spannrollentrieb	937
26.10	Verständnisfragen	939

27	Keilriementriebe	940
27.1	Wirkungsweise, Ausführung genormter Keilriemen	940
27.2	Keilriemenscheiben	944
27.3	Berechnung der Antriebe mit Keilriemen und Keilrippenriemen	946
27.4	Weitere Ausführungen von Keilriemen und Keilriementrieben	954
27.5	Verständnisfragen	955
28	Synchron- oder Zahnriementriebe	957
28.1	Ausführung der Synchron- oder Zahnriemen und -scheiben	957
28.2	Übersetzung und Geometrie der Synchronriementriebe	961
28.3	Berechnung von Antrieben mit Synchron- oder Zahnriemen	962
28.4	Verständnisfragen	967
Teil 7: Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase		969
29	Rohrleitungen	970
29.1	Grundlagen	970
29.2	Rohrarten	972
29.3	Rohrformstücke	974
29.4	Rohrverbindungen	976
29.5	Dehnungsausgleicher	982
29.6	Rohrhalterungen	985
29.7	Darstellung von Rohrleitungen	987
29.8	Berechnung von Rohrleitungen	988
29.9	Verständnisfragen	996
30	Armaturen	998
30.1	Allgemeines	998
30.2	Ventile	1000
30.3	Schieber	1002
30.4	Hähne	1004
30.5	Klappen	1005
30.6	Armaturenantriebe	1006
30.7	Verständnisfragen	1006
Index		1008



Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.

Vorwort

Die 1. Auflage des mittlerweile in der 21. Auflage vorliegenden Lehrbuchs **Decker *Maschinenelemente*** wurde 1963 von Karl-Heinz Decker verfasst und hat seitdem Generationen von Ingenieuren und Technikern während des Studiums und im Berufsleben begleitet. Es ist für den Unterrichts- und Vorlesungsgebrauch an Fachschulen, Fachhochschulen und Universitäten gedacht, aber auch für das Selbststudium und die Konstruktionspraxis geeignet. Die wichtigsten Maschinenelemente sind in einer knappen und übersichtlichen Form dargestellt. Dabei ist jede Maschinenelementgruppe in sich geschlossen behandelt, damit der Lehrstoff wahlweise und von anderen Elementen unabhängig durchgearbeitet werden kann. Darüber hinaus wurden in dieser Auflage über 250 Verständnisfragen ergänzt, die bei der Verinnerlichung der wichtigsten Lernziele unterstützen.

Das Fachgebiet Maschinenelemente ist sehr umfangreich und erweitert sich durch neue Entwicklungen und Forschungsergebnisse ständig. Davon können im Rahmen der Ausbildung zum Ingenieur oder Techniker nur die wesentlichen Hauptgebiete behandelt werden. Die Vertiefung dieser Kenntnisse muss sich dann durch die Beschäftigung mit Konstruktionsproblemen in der Praxis ergeben.

Zum besseren Verständnis sind jeweils im Anschluss an den behandelten Stoff weit über hundert Berechnungsbeispiele eingefügt. Zur Unterscheidung vom übrigen Inhalt sind sie farblich unterlegt. Auf die Herleitung der Berechnungsgleichungen wurde besonderer Wert gelegt, da dies zum tieferen Verständnis beiträgt. Mit den zahlreichen Tabellen und Diagrammen, die im beiliegenden Tabellenband **Decker *Maschinenelemente – Tabellen und Diagramme*** zusammengefasst wurden, werden dem Leser die Unterlagen in die Hand gegeben, die er zum Berechnen der Maschinenelemente braucht. Im Lehrbuch sind nur die tabellarisch geordneten Angaben und Diagramme enthalten, die zum Verständnis des Textes notwendig sind. Der Tabellenband kann auch unabhängig vom Lehrbuch genutzt werden, vorzugsweise in Verbindung mit der Formelsammlung **Decker *Maschinenelemente – Formeln*** (9. Auflage, ISBN 978-3-446-47331-7).

Unter plus.hanser-fachbuch.de stehen über 100 Excel-Berechnungsprogramme und zahlreiche Videos als ergänzende Arbeitsmaterialien bereit. Hinzu kommt das Programmpaket BayMP (Bayreuther Maschinenelemente-Programme). Die kostenlos unter www.baymp.de erhältlichen Programme ermöglichen die Auslegung wichtiger Maschinenelemente (Wellen, Lager, Federn, Getriebe, Kupplungen usw.) – sei es online, computergestützt unter Windows, Linux bzw. macOS oder auf verschiedenen wissenschaftlichen Taschenrechnern.

Die Nutzung der Berechnungssoftware **MDESIGN Student**, die kostenfrei unter <https://mdesign.de/decker> bezogen werden kann, ermöglicht es Studierenden und Auszubildenden, als zu-

künftige Mitarbeiter in Konstruktion und Entwicklung professionelle Werkzeuge für die Auslegung und Berechnung von Maschinenelementen kennenzulernen und zu nutzen.

Mit diesen Hilfsmöglichkeiten kann man eine Vielzahl von Aufgaben aus dem dazugehörigen Aufgabenbuch **Decker Maschinenelemente – Aufgaben** (17. Auflage, ISBN 978-3-446-47332-4), das ebenfalls im Carl Hanser Verlag erschienen ist, vollständig oder teilweise lösen. Die 17. Auflage ist umfassend auf die vorliegende 21. Auflage dieses Lehrbuchs abgestimmt.

Allen Kolleginnen und Kollegen von Fach- und Hochschulen und aus der Industrie, die durch Kritik und Anregungen zur Verbesserung und Erweiterung dieses Buches beigetragen haben, sei herzlich gedankt, ebenso den vielen Firmen, die Unterlagen zur Verfügung stellten, sowie der Firma MDESIGN Vertriebs GmbH, Bochum, für die Bereitstellung des Programms MDESIGN. Verlag und Bearbeiter hoffen, dass auch diese Auflage des Buches den Ingenieuren und Technikern während des Studiums und in der Praxis ein nützlicher Helfer sein wird.

*Frank Rieg
Frank Weidermann
Gerhard Engelken
Reinhard Hackenschmidt
Bettina Alber-Laukant
Stephan Tremmel*

Hinweise zur Benutzung des Buches

Bei der Berechnung von Maschinenelementen werden zahlreiche Gesetze und Rechenverfahren der Technischen Mechanik und der Festigkeitslehre angewendet. Deshalb sind Grundkenntnisse auf diesem Fachgebiet erforderlich. Hierfür wird das Buch *Mechanik und Festigkeitslehre* von Karlheinz Kabus empfohlen, das 2023 in der 9. Auflage (ISBN 978-3-446-47902-9) im Carl Hanser Verlag erschienen ist. Beide Bücher sind weitgehend aufeinander abgestimmt.

Die Bilder, Tabellen, Diagramme und Formeln sind kapitelweise nummeriert. Über 250 Verständnisfragen, die jeweils am Ende der Kapitel zu finden sind, unterstützen bei der Verinnerlichung der wichtigsten Lernziele. Alle Tabellen und die für Berechnungen benötigten Diagramme befinden sich im beiliegenden Tabellenband **Decker *Maschinenelemente – Tabellen und Diagramme***.

Wegen der zurzeit auf vielen Gebieten der Technik stattfindenden Übernahme internationaler und europäischer Normen in das deutsche Normenwerk als DIN ISO- und DIN EN-Normen ist es sehr schwierig, den gerade aktuellen Stand zu erfassen. Bei den Werkstoffen mit inzwischen geänderten Bezeichnungen sind die neuen Kurzzeichen angegeben worden.

Der Inhalt von DIN-Normen wird mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Die Festigkeits- und Tragfähigkeitsberechnungen sind überwiegend so aufgebaut, dass Bauteile mit vorgegebenen Abmessungen und Werkstoffen nachgerechnet werden können, wie dies auch in der Konstruktionspraxis üblich ist. Den Berechnungsgleichungen ist jeweils ihre Bedeutung in Kursivschrift vorangestellt. Nach der Formel folgt eine ausführliche Legende mit den zu bevorzugenden SI-Einheiten oder abgeleiteten SI-Einheiten und mit der Bedeutung der einzelnen Größen sowie entsprechenden Hinweisen. Es wurden fast ausschließlich Größen-gleichungen verwendet. Zahlenwertgleichungen werden nur in seltenen Ausnahmefällen eingesetzt.

Die Bilder zu den Beispielen sind Berechnungsskizzen, bei denen die Normen für technische Zeichnungen weitgehend angewendet wurden. Innerhalb der Berechnungen in den Beispielen ist jeweils mit den angegebenen Zwischenergebnissen weitergerechnet worden, d. h., diese Werte wurden wieder neu in den Rechner eingegeben. Beim Weiterrechnen mit den vom Rechner angezeigten ungerundeten Werten ergeben sich teilweise geringfügig abweichende Endergebnisse.

Das Arbeiten nach diesem Lehrbuch in der Praxis erfolgt grundsätzlich auf eigene Verantwortung. Eine Gewähr kann nicht übernommen werden. Es sind stets die letzten Ausgaben der Normen und technischen Regeln sowie der Firmendruckschriften zu beachten.

Bei den Formelzeichen ist dieses Werk weitgehend an die Vorgaben in den DIN-Normen angelehnt. Es wurde aber bewusst davon abgewichen, wenn sich Widersprüche ergeben, z. B. bei der Verwendung unterschiedlicher Formelzeichen für denselben physikalischen Sachverhalt in verschiedenen Normen und Druckschriften. Dies trifft u. a. – wie allgemein üblich – für den Reibwert (die Reibungszahl) μ und für die Querkontraktionszahl ν zu. In diesen Fällen folgt das Lehrbuch der Darstellung, wie sie in den meisten Lehrbüchern üblich ist.

Bei den Maßeinheiten werden die Einheiten bevorzugt benutzt, mit denen in der Praxis üblicherweise gearbeitet wird. Die Drehzahl wird im Allgemeinen in min^{-1} angegeben. Für mechanische Spannungen und Drücke wird konsequent N/mm^2 angegeben.

Ergänzende Arbeitsmaterialien in Form von Excel-Berechnungsprogrammen und Videos sind unter plus.hanser-fachbuch.de verfügbar. Darüber hinaus werden unter www.baymp.de zahlreiche Programme zur Berechnung von ausgewählten Maschinenelementen angeboten. Die kostenfreie Nutzung der Auslegungs- und Berechnungssoftware MDESIGN Student wird unter <https://mdesign.de/decker> ermöglicht.

TEIL 1

Grundlagen

■ 1.1 Normen und Richtlinien

Beim rationellen Konstruieren von Produkten haben Normen und andere allgemein anerkannte Richtlinien der Technik eine besondere Bedeutung. Sie sind das Ergebnis der Gemeinschaftsarbeit erfahrener Fachleute, die in den Gremien der deutschen Normungsorganisation, dem Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN), und anderer Fachverbände überwiegend ehrenamtlich zusammenwirken. Die von diesen Institutionen herausgegebenen Veröffentlichungen können als Regeln der Technik von jedermann angewendet werden. Sie gelten als Empfehlungen, befreien den Anwender aber nicht von der eigenen Verantwortung.

Das **Deutsche Institut für Normung e. V.** (kurz DIN genannt) ist ein gemeinnütziger Verein mit Sitz in Berlin und durch einen mit der Bundesrepublik Deutschland geschlossenen Vertrag die deutsche *Nationale Normungsorganisation*. Sie hat die Aufgabe, Normen zu erarbeiten und diese der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Die fachliche Arbeit wird in Normenausschüssen durchgeführt, die in Arbeitsausschüsse untergliedert sind. Die Ergebnisse der Normungsarbeit im DIN werden als **DIN-Normen** herausgegeben und bilden das *Deutsche Normenwerk*. In den Normen der Reihe DIN 820 sind die Grundsätze und Verfahrensregeln festgelegt, nach denen im DIN die Normen erstellt und herausgegeben werden.

Als Mitglied der europäischen und internationalen Normungsorganisationen vertritt das DIN dort die deutschen Interessen. Auf internationaler Ebene wird die Normung weltweit von der **ISO** (International Organization for Standardization) und der Internationalen Elektrotechnischen Kommission **IEC** (International Electrotechnical Commission) betrieben. Sie bilden gemeinsam das *System Internationale Normung* mit Sitz in Genf. Die für Europa zuständige Normungsorganisation ist die in Brüssel ansässige *Gemeinsame Europäische Normungsinstitution CEN/CENELEC*. Sie ist ein Zusammenschluss des Europäischen Komitees für Normung (CEN) und des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC). Internationale Normen werden als **DIN-ISO-Normen** und europäische Normen als **DIN-EN-Normen** in das Deutsche Normenwerk übernommen. DIN-EN-ISO-Normen sind in Deutschland, Europa und international anerkannt.

Normen sind ein Ordnungsmittel für das sinnvolle Zusammenwirken aller gesellschaftlichen Gruppen in Wirtschaft und Verwaltung sowie auf technisch-wissenschaftlichen Gebieten. Sie enthalten u. a. Angaben, Empfehlungen und Anforderungen für

- die Beschaffenheit und Prüfung technischer Erzeugnisse,
- die Herstellung, Instandhaltung und Handhabung von Gegenständen und Anlagen,

- die Gestaltung und den organisatorischen Ablauf von Verfahren und Dienstleistungen,
- die Sicherheit, Gesundheit und den Umweltschutz,
- die Qualitätssicherung und -verbesserung.

Durch Festlegungen z. B. für einheitliche Bezeichnungen, Abmessungen, Toleranzen, Baureihen, Berechnungsverfahren usw. begünstigen technische Normen die Rationalisierung in Konstruktion, Fertigung, Montage und Instandhaltung. Obwohl die Anwendung von Normen freigestellt ist, kann sich aus Rechts- und Verwaltungsvorschriften, aus Verträgen oder anderen Rechtsgrundlagen eine Anwendungspflicht ergeben.

Außer den vom DIN herausgegebenen Normen gibt es weitere Vorschriften und Richtlinien, die von verschiedenen technischen Fachverbänden erarbeitet und veröffentlicht werden. Dazu gehören z. B. die **VDI-Richtlinien** des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), einem technisch-wissenschaftlichen Mitgliederverein, die **FKM-Richtlinien** des Forschungskuratoriums Maschinenbau e. V., die **VDE-Bestimmungen** des Verbandes Deutscher Elektrotechniker e. V. (VDE), die **AD-Merkblätter** der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter, herausgegeben vom Verband der Technischen Überwachungs-Vereine (TÜV), die **VDG-Merkblätter** des Vereins Deutscher Gießereifachleute, die **DVS-Merkblätter** des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik, die **DAST-Richtlinien** des Deutschen Ausschusses für Stahlbau. Auf weitere technische Regeln wird in den entsprechenden Kapiteln hingewiesen.

Auf einigen Gebieten werden vom DIN und den Fachverbänden gemeinsam technische Regeln herausgegeben. So ist eine DIN-VDE-Norm zugleich eine Deutsche Norm und eine VDE-Bestimmung. Die VDI/VDE-Richtlinien sind ein Gemeinschaftswerk von Fachgliederungen des VDI und des VDE. Oftmals sind Merkblätter und Richtlinien der Fachverbände die Vorläufer von DIN-Normen, oder sie enthalten für bestimmte Fachgebiete Festlegungen, die über die DIN-Normen hinausgehen bzw. diese ergänzen.

Die Normen sind in der Regel für ein weites Anwendungsgebiet vorgesehen. Sie enthalten vielfach Angaben, die in ihrem Umfang nicht jeder Betrieb benötigt. Aus diesem Grunde werden zur Erleichterung und Rationalisierung der Organisation, der Konstruktion und der Produktion innerbetriebliche Normen, **Werknormen**, erarbeitet. Deren Inhalte können firmenspezifische Auszüge aus DIN-Normen oder Richtlinien für die Berechnung und Konstruktion, Anweisungen für die Nummerierung von Zeichnungen und die Gliederung der Zeichnungsätze, Vorschriften für die Fertigung und die Qualitätskontrolle sowie andere betriebsinterne Regelungen sein. Die innerbetriebliche Normungsarbeit sowie das Verwalten aller Normen und Richtlinien obliegt der *Normenabteilung* eines Betriebes, die zwecks Unabhängigkeit der Geschäftsleitung direkt unterstellt sein sollte.

Eine bedeutende Rolle beim Konstruieren und in der Fertigung spielen u. a. die **Werkstoffnormen**. Sie helfen einerseits dem Konstrukteur, den für das zu entwerfende Produkt geeigneten Werkstoff auszuwählen und stellen andererseits durch die verbindlich festgelegte Werkstoffbezeichnung sicher, dass dieser Werkstoff in der Fertigung auch angewendet wird. Das Thema Werkstoffe wird in Kapitel 2 ausführlich behandelt.

1.2 Maße, Toleranzen und Passungen

Normzahlen und Normmaße

Zur Vermeidung von willkürlichen Abstufungen bei der Typisierung von Maschinen und Geräten in Bezug auf deren Baugrößen, Leistungen, Drehmomente, Drehzahlen, Drücke, Durchlauf- oder Fördermengen und auf sonstige physikalische Größen wurden mit DIN 323 Normzahlen festgelegt. Die Größenabstufungen beschränken die Anzahl der Bautypen und führen damit zur Begrenzung der erforderlichen Werkzeuge und Einrichtungen, sodass sie zur Rationalisierung beitragen.

Diese **Normzahlen NZ** sind sinnvoll in einer **geometrischen Reihe** gestuft, bei der das Verhältnis eines Gliedes (einer Zahl) zum vorhergehenden Glied konstant bleibt. Dieses Verhältnis heißt **Stufensprung q** . Oder anders ausgedrückt: jede Normzahl ergibt sich durch Multiplizieren der vorhergehenden mit dem Stufensprung q .

Die Hauptglieder der Reihe bilden die ganzzahligen Zehnerpotenzen (... 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 10^0 , 10^2 , 10^3 , ...). Sie sind weder nach oben noch nach unten begrenzt. Jeder Dezimalbereich ist in r Stufen unterteilt, beispielsweise zwischen 1 und 10 in $r = 5$ Stufen:

1	1,6	2,5	4,0	6,3	10
1.	2.	3.	4.	5.	Stufe

Für diese Reihe ist auf 0,1 genau gerundet:

$$10 / 6,3 = 6,3 / 4 = 4 / 2,5 = 2,5 / 1,6 = 1,6 / 1 = 1,6 = q_5$$

Es sind **vier Grundreihen** genormt. Sie werden nach dem Erfinder der Normzahlen Renard mit dem Buchstaben **R** und der Stufenzahl $r = 5, 10, 20$ und 40 je Dezimalbereich gekennzeichnet:

Reihe R5 mit	$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$
Reihe R10 mit	$q_{10} = \sqrt{q_5} = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$
Reihe R20 mit	$q_{20} = \sqrt{q_{10}} = \sqrt[20]{10} \approx 1,12$
Reihe R40 mit	$q_{40} = \sqrt{q_{20}} = \sqrt[40]{10} \approx 1,06$

Somit enthält jede Reihe die Glieder der vorhergehenden, größeren Reihen. Größere Reihen haben Vorrang, also R 5 vor R 10, R 10 vor R 20, R 20 vor R 40.

Weiterhin gibt es eine **Ausnahmereihe R 80**, die nur in unumgänglichen Sonderfällen herangezogen werden soll.

Rundwertreihen, bei denen die bereits gerundeten Zahlen der vier Reihen noch stärker gerundet sind, beispielsweise 3,55 auf 3,6 oder 6,3 auf 6, sollten nur in zwingenden Fällen angewendet werden. Sie sind mit **R'** und **R''** bezeichnet, wobei die Reihe **R''** die größte ist. Beide Reihen dienen aber als **Normmaße** in mm. Die Reihe **R''** ist jedoch möglichst zu vermeiden!

In Tabelle 1.1 sind die Glieder der Grundreihen R und die der Rundwertreihen R' jeweils zwischen 1 und 10 wiedergegeben. Durch Multiplizieren mit den ganzzahligen Zehnerpotenzen lassen sie sich beliebig fortsetzen.

Außerdem darf eine Reihe abgeleitet werden, wenn keine Grundreihe oder Rundwertreihe verwendet werden kann, z. B. wenn ein bestimmter Anfangswert oder Stufensprung vorgegeben ist. **Abgeleitete Reihen** werden mit **Rr/p** bezeichnet, enthalten nur jedes p -te Glied einer Grundreihe und den Stufensprung $q_{r/p} = q_r^p$. So hat beispielsweise die abgeleitete Reihe R 10/3

den Stufensprung $q_{10/3} = q_{10}^3 = 1,25^3 \approx 2$ und damit die Zahlenfolge 1 2 4 8 16 32 usw. Soll die Reihe nicht mit der Zahl 1 beginnen oder keine bestimmte Zahl der Grundreihe enthalten, ist das besonders anzugeben.

Sollen z. B. die Drehmomente T einer Reibscheibenkupplung in einer Normzahlreihe gestuft werden, so sind die Durchmesser der Reibscheiben entsprechend dem gewünschten Stufensprung festzulegen. Das Drehmoment errechnet sich näherungsweise zu $T = p \cdot z \cdot \mu \cdot r_m \cdot A$ mit p als Anpressdruck, z als Anzahl der Reibflächen, μ als Reibzahl, r_m als mittlerem Reibscheibenradius und A als Reibscheibenfläche. Bezeichnet man mit D_a den Reibscheibenaußendurchmesser und mit D_i den Reibscheibeninnendurchmesser, so wird

$$T = p \cdot z \cdot \mu \cdot \frac{D_a + D_i}{4} \cdot \frac{D_a^2 - D_i^2}{4} \pi$$

Bleibt das Verhältnis $D_i / D_a = c$ konstant, so wird mit $D_i = D_a \cdot c$:

$$T = p \cdot z \cdot \mu \cdot \frac{D_a^3}{16} (1 + c - c^2 - c^3) \pi = D_a^3 \cdot C$$

Damit ergibt sich als Stufensprung

$$q = \frac{T_2}{T_1} = \frac{D_{a2}^3}{D_{a1}^3} \text{ usw.}$$

sodass sich die einzelnen Reibscheibendurchmesser mit dem Stufensprung q und der Normzahlreihe errechnen lassen (siehe Beispiel 1.1).



Beispiel 1.1

Die Nenn Drehmomente T einer Baureihe von Reibscheibenkupplungen sollen in der Normzahlreihe R 5 von 10 bis 1000 Nm gestuft werden. Der Reibscheibenaußendurchmesser der ersten Baugröße beträgt $D_{a1} = 100$ mm.

Zu ermitteln ist die Stufung der Drehmomente und der Reibscheibenaußendurchmesser.

Lösung:

1. Stufung der Drehmomente T

Für die Reihe R 5 folgt aus Tabelle 1.1:

$$T = 10 \quad 16 \quad 25 \quad 40 \quad 63 \quad 100 \quad 160 \quad 250 \quad 400 \quad 630 \quad 1000 \quad \text{Nm}$$

2. Stufung der Reibscheibenaußendurchmesser D_a

Mit $T_1 = 10$ Nm und $T_2 = 16$ Nm beträgt der Stufensprung, da die Drehmomente den dritten Potenzen der Reibscheibenaußendurchmesser proportional sind

$$q_5 = \frac{T_2}{T_1} = \frac{16}{10} = \frac{D_{a2}^3}{D_{a1}^3} \approx 1,6$$

Damit wird

$$D_{a2}^3 = q_5 \cdot D_{a1}^3 \quad \text{und} \quad D_{a2} = \sqrt[3]{q_5} \cdot D_{a1} = q \cdot D_{a1}$$

Somit beträgt der Stufensprung für die Durchmesserreihe

$$q = q_5^{1/3} = 1,6^{1/3} \approx 1,17$$

Es handelt sich also um eine abgeleitete Reihe $R_{r/p} = R5(1/3)$, in der drei Stufensprünge einem Stufensprung der Reihe R5 entsprechen. Die Durchmesserreihe beträgt gerundet:

$$D_a = 100 \ 115 \ 135 \ 160 \ 185 \ 215 \ 250 \ 290 \ 340 \ 400 \ 470 \text{ mm}$$

Geometrische Produktspezifikation

Die Normenwelt ist in Bewegung. Das im Jahr 1996 eingerichtete Technische Komitee ISO/TC 213 „Geometrische Produktspezifikation und Prüfung“ verfolgt das Ziel, ein einheitliches System von GPS-Normen zur **Spezifikation und Prüfung der Werkstückgeometrie** als verbessertes Werkzeug für die Entwicklung und Herstellung zu schaffen. Vorhandene Normen wurden in einer *Übersichtsmatrix* über die Geometrische Produktspezifikation eingeordnet [1.1]. Hierbei spiegeln die Kettenglieder der einen Dimension die Abfolge von Spezifikation und Prüfung, wobei im Zusammenhang mit der Prüfung auch die Aspekte der *Messunsicherheit* des verwendeten Messmittels und das Erfordernis der *Kalibrierung* berücksichtigt werden:

- Angaben der Produktdokumentencodierung
- Definition der Toleranzen – Theoretische Definition der Werte
- Definition der Eigenschaften des Istformelements
- Ermittlung der Abweichungen des Werkstückes
- Anforderungen an Messeinrichtungen
- Kalibrieranforderungen – Kalibriernormen

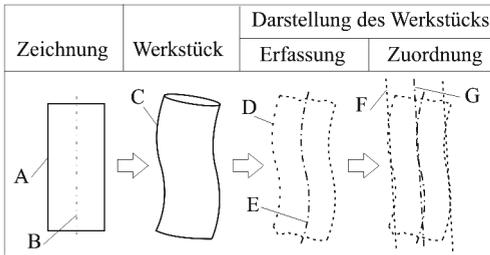
In der zweiten Dimension der GPS-Matrix werden *geometrische Eigenschaften* betrachtet wie:

- Maß (Länge)
- Abstand
- Radius
- Winkel
- Form einer Linie unabhängig von einem Bezug
- Form einer Linie abhängig von einem Bezug
- Form einer Fläche unabhängig von einem Bezug
- usw.

Bei der Einordnung der vorhandenen Normen in die GPS-Matrix wurden ebenso Widersprüche deutlich wie auch Lücken, die vor allem die Kettenglieder 3 bis 6 betreffen, da die Normung mit der Entwicklung der Messtechnik nicht Schritt gehalten hat. Hieraus entstanden umfangreiche Aktivitäten zur Überarbeitung und Entwicklung vollständiger GPS-Normen.

Mit den Normen DIN EN ISO 14660-1 und DIN EN ISO 14660-2 wurden zum ersten Mal Begriffe und Definitionen eingeführt, ohne die eine Beschreibung der Messung gar nicht möglich ist. Das Nenn-Geometrieelement hat z.B. im CAD-Modell keine Form- und Lageabweichung. Das wirkliche Geometrieelement am gefertigten Werkstück hat dagegen solche Abweichungen, die

messtechnisch erfasst und durch Zuordnung bewertet werden müssen. Im Hinblick auf die Feststellung von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit der Spezifikation legt DIN EN ISO 14253-1 eindeutig fest, dass die Zone der Übereinstimmung die um den doppelten Wert der „erweiterten Messunsicherheit“ eingeschränkte Toleranzzone ist.



A Nenn-Geometrieelement
 B abgeleitetes Nenn-Geometrieelement
 C wirkliches Geometrieelement
 D erfasstes vollst. Geometrieelement
 E erfasstes abgel. Geometrieelement
 F zugeordnetes vollst. Geometrieel.
 G zugeordnetes abgel. Geometrieel.

Bild 1.1 Beziehungen der Definitionen von Geometrieelementen zueinander [DIN EN ISO 14660-1], [DIN EN ISO 14660-2]

Maße, Abmaße und Toleranzen

Um die Funktion eines Bauteils zu gewährleisten, sind die funktionsbestimmenden Abstände von Oberflächen (Passflächen) entsprechend genau herzustellen. Da sich absolut genaue Abmessungen nicht herstellen lassen, müssen mehr oder weniger große Abweichungen zugelassen werden. Das ausgeführte Maß darf zwei Grenzmaße nicht über- oder unterschreiten. Nach diesen und der erforderlichen Oberflächenbeschaffenheit muss sich das Herstellungsverfahren richten.

Die Grundlagen für Abmaße und Toleranzen des ISO-Systems für Grenzmaße und Passungen sind in DIN EN ISO 286 festgelegt. Nachfolgend werden einige wichtige Begriffe erläutert (vgl. auch Bild 1.2).

Welle ist die Kurzbezeichnung für alle **Außenmaße** zwischen zwei parallelen ebenen Flächen eines Werkstücks oder parallelen Tangentenebenen an runden Werkstücken.

Bohrung ist sinngemäß die Kurzbezeichnung für alle **Innenmaße**.

Das **Nennmaß N** dient als Bezugsmaß für die Abmaße.

Istmaß I ist das am fertigen Werkstück gemessene Maß, z. B. 24,95 mm. Wegen gewisser Formabweichungen können die Istmaße an verschiedenen Stellen unterschiedlich sein.

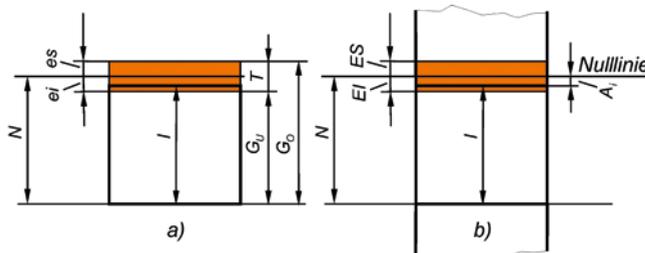


Bild 1.2 Maße und Abmaße
 a) an einer Welle, b) an einer Bohrung

Grenzmaße sind das **Höchstmaß** G_o und das **Mindestmaß** G_u , zwischen denen das Istmaß liegen muss, z. B. Höchstmaß $G_o = 25,15 \text{ mm}$, Mindestmaß $G_u = 24,90 \text{ mm}$.

Oberes Abmaß ES, es (extreme superior; Großbuchstaben für Bohrung, Kleinbuchstaben für Welle) ist die Differenz zwischen Höchstmaß G_o und Nennmaß N , z. B. ES (bzw. es) $= G_o - N = 25,15 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = +0,15 \text{ mm}$.

Unteres Abmaß EI, ei (extreme inferior; Großbuchstaben für Bohrung, Kleinbuchstaben für Welle) ist die Differenz zwischen Mindestmaß G_u und Nennmaß N , z. B. EI (bzw. ei) $= G_u - N = 24,90 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = -0,10 \text{ mm}$.

Istabmaß A_i ist die Differenz zwischen Istmaß I und Nennmaß N , z. B. $A_i = I - N = 24,95 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = -0,05 \text{ mm}$.

Toleriertes Maß (früher Passmaß) ist ein Nennmaß, an dem die Grenzabmaße angegeben sind, entweder als oberes und unteres Abmaß, z. B. $25^{+0,15}_{-0,10} \text{ mm}$, oder durch Toleranzkurzzeichen (siehe nachfolgenden Abschnitt). Die Grenzabmaße können auch ohne Angabe am Nennmaß durch Allgemeintoleranzen festgelegt sein, z. B. nach DIN ISO 2768-1.

Nulllinie ist die dem Abmaß Null und somit dem Nennmaß entsprechende Bezugslinie für die Abmaße.

Toleranz T ist die Differenz zwischen dem Höchstmaß G_o und dem Mindestmaß G_u oder die Differenz zwischen dem oberen Abmaß ES (es) und dem unteren Abmaß EI (ei) (Bild 1.1), z. B. $T = G_o - G_u = 25,15 \text{ mm} - 24,90 \text{ mm} = 0,25 \text{ mm}$ oder $T = ES - EI = +0,15 \text{ mm} - (-0,10 \text{ mm}) = 0,25 \text{ mm}$. Falls zur Unterscheidung erforderlich, erhalten die sich auf die Welle beziehenden Größen den Index W , die sich auf die Bohrung beziehenden den Index B .

Im Zusammenhang mit der Paarung von Teilen sind die nachfolgenden Maßarten von besonderer Bedeutung:

Maximum-Material-Grenzmaß MML (maximum material limit) ist dasjenige Grenzmaß, bei dessen Realisierung das Bauteil das Maximum an Material behält, also

1. bei Außenmaßen das Höchstmaß und
2. bei Innenmaßen das Mindestmaß.

Bei Abstandsmaßen gibt es kein MML .

Wirksames Istmaß VS (virtual size) ist das Maß eines geometrisch idealen Gegenstücks, mit dem sich das Geometrieelement spielfrei paaren lässt. Das wirksame Istmaß VS trägt der möglichen Formabweichung Rechnung. Beim Außenmaß wird VS bei Formabweichung größer, beim Innenmaß kleiner als das örtliche Istmaß.

Wirksames Grenzmaß $MMVL$ (maximum material virtual limit) ist das Grenzmaß, das sich als Summe von Maximum-Material-Grenzmaß MML und der dem Geometrieelement zugeordneten Formtoleranz t ergibt. Es repräsentiert den für die Paarung ungünstigsten Fall.

Prüfmaß (testing size) ist ein für die Funktion des Bauteils wichtiges Maß, für das der Konstrukteur die Prüfung explizit fordert. Das Prüfmaß wird durch einen abgerundeten Rahmen gekennzeichnet.

ISO-Toleranzsystem

Die funktionsbedingten Maße von Bauteilen müssen passgerecht toleriert werden, um die Bauteile ohne Nacharbeit montierbar und austauschbar zu machen. Mit DIN EN ISO 286 ist ein weltweit gültiges Toleranzsystem genormt, bei dem für eine wirtschaftliche Fertigung sinnvoll an Nennmaßbereiche gebundene Grenzabmaße festgelegt sind, die hinter dem Nennmaß durch

Kurzzeichen angegeben werden. Ein ISO-Toleranzkurzzeichen besteht aus Buchstaben und Ziffern, und zwar bei **Wellen** (Außenmaße) aus ein oder zwei **Kleinbuchstaben** und einer Zahl, z. B. 25 f7 oder 25 za6, bei **Bohrungen** (Innenmaße) aus ein oder zwei **Großbuchstaben** und einer Zahl, z. B. 25 F7 oder 25 ZA6. Der Buchstabe bestimmt das Grundabmaß und damit die Lage der Toleranzzone zur Nulllinie (Bild 1.3), die Zahl den **Toleranzgrad** als Größe (Feinheit) der Toleranz. Beide zusammen ergeben die **Toleranzklasse**, Bezeichnungsbeispiel: Toleranzklasse f7. Sie wird durch die Toleranzzone dargestellt (Bild 1.2).

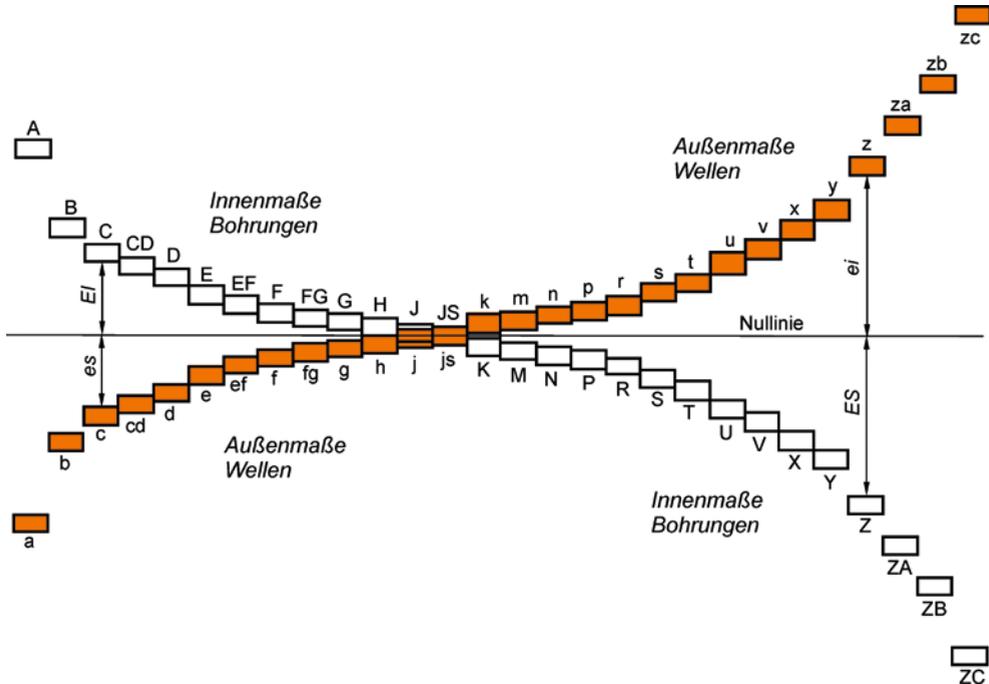


Bild 1.3 Toleranzzonen des ISO-Systems nach DIN EN ISO 286
es und ei Grundabmaße der Welle, ES und EI Grundabmaße der Bohrung

In DIN EN ISO 286 sind 20 **Grundtoleranzgrade** festgelegt, und zwar **IT 01, IT 0, IT 1, IT 2 ... IT 18** (IT = Internationale Toleranz). Die Grundtoleranzgrade IT 01 und IT 0 sind nicht für allgemeine Anwendung vorgesehen und nur im Anhang von DIN EN ISO 268-1 enthalten. Vorwiegend verwendet werden die Grundtoleranzgrade IT 1 bis 4 für Lehren und Messgeräte, IT 5 bis 11 in der Feinwerktechnik sowie im Geräte- und Maschinenbau, IT 12 bis 18 für grobe Herstellungsverfahren. Die Buchstaben IT entfallen, wenn ein Toleranzgrad im Zusammenhang mit einem Grundabmaß eine Toleranzklasse bildet, z. B. H6.

Unter einer **Grundtoleranz T** versteht man jede Toleranz, die zum ISO-System für Grenzmaße und Passungen gehört. Die Werte der Grundtoleranzen sind an die Grundtoleranzgrade und an Nennmaßbereiche gebunden. Sie sind Vielfache eines Toleranzfaktors i bzw. I .

Mit $D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}$ als geometrischem Mittel aus den **Zahlenwerten** der Grenzwerte D_1 und D_2 des Nennmaßbereichs, d. h. **ohne** ihre Einheit mm, beträgt für Nennmaße bis 500 mm und die Grundtoleranzgrade IT 5 bis IT 18 der

$$\text{Toleranzfaktor } i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D \text{ in } \mu\text{m} \quad (1.1)$$

Für Nennmaße über 500 mm bis 3150 mm beträgt der

$$\text{Toleranzfaktor } I = 0,004D + 2,1 \text{ in } \mu\text{m} \quad (1.2)$$

Die sich mit diesen Gleichungen ergebenden Werte sind nach vorgegebenen Regeln zu runden, und zwar die nach Formel 1.1 bis 100 μm auf 1 μm genau, bis 200 μm auf 5 μm genau, bis 500 μm auf 10 μm genau. Beispiel: errechnet $T = 183,22\mu\text{m}$, gerundet auf 185 μm , oder errechnet $T = 324,8\mu\text{m}$, gerundet auf 320 μm .

Verbindliche Werte der Grundtoleranzen für Nennmaße sind in Normen angegeben [DIN EN ISO 286-1], [DIN 7172] (Auszug siehe Tabelle 1.2).



Beispiel 1.2

Für den Nennmaßbereich über 50 bis 80 mm ist die Grundtoleranz des Toleranzgrades 6 zu ermitteln und mit der Angabe in Tabelle 1.2 zu vergleichen.

Lösung:

Für $D_1 = 50\text{mm}$ und $D_2 = 80\text{mm}$ ist der geometrische Mittelwert als Zahlenwert ohne Einheit

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2} = \sqrt{50 \cdot 80} = 63,25$$

Nach Formel 2.1 wird damit der Toleranzfaktor

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D = 0,45\sqrt[3]{63,25} + 0,001 \cdot 63,25 = 1,856\mu\text{m}$$

Aus Tabelle 1.2 folgt für IT 6 die Grundtoleranz

$$T = 10i = 10 \cdot 1,856\mu\text{m} = 18,56\mu\text{m} \approx 19\mu\text{m}.$$

Dieser gerundete Wert ist auch in der Tabelle enthalten.

Auch zur Berechnung der **Grundabmaße** für Wellen und für Bohrungen sind in DIN EN ISO 286-1 Formeln angegeben. Im Allgemeinen liegen die Grundabmaße für Bohrungen in Bezug auf die Nulllinie genau symmetrisch zu denen für die Wellen mit gleichem Buchstaben, jedoch umgekehrtem Vorzeichen (Bild 1.3), d. h., es ist $EI = -es$ bzw. $ES = -ei$.

In Tabelle 1.3 bis Tabelle 1.6 sind die Grundabmaße für Wellen und Bohrungen nach DIN EN ISO 286-1 angegeben. Das zugehörige zweite Abmaß ergibt sich durch Addition bzw. Subtraktion der Grundtoleranz IT nach Tabelle 1.2.

Die Berechnung von Abmaßen ist in der Praxis nur selten erforderlich, da für die gebräuchlichen Toleranzklassen Tabellen mit Grenzabmaßen zur Verfügung stehen (z. B. DIN EN ISO 286-2, DIN 7172).



Beispiel 1.3

Für folgende tolerierte Maße sind die Abmaße zu ermitteln:

1. 50 f7 und 50 F7
2. 60 p6 und 60 P6
3. 60 M8

Lösung:

1. Aus Tabelle 1.3 und Tabelle 1.4 ergeben sich $es = -25\mu\text{m}$ und $EI = +25\mu\text{m}$. Mit der Grundtoleranz $T = 25\mu\text{m}$ aus Tabelle 1.2 für IT 7 werden

$$ei = es - T = -25\mu\text{m} - 25\mu\text{m} = -50\mu\text{m}$$

$$ES = EI + T = +25\mu\text{m} + 25\mu\text{m} = +50\mu\text{m}$$

Somit: $50f7 = 50_{-0.050}^{-0.025}$ mm und $50F7 = 50_{+0.025}^{+0.050}$ mm.

2. Aus Tabelle 1.5 und Tabelle 1.6 folgen $ei = +32\mu\text{m}$ und $ES = -32\mu\text{m} + \Delta = -32\mu\text{m} + 6\mu\text{m} = -26\mu\text{m}$. Mit der Grundtoleranz $T = 19\mu\text{m}$ aus Tabelle 1.2 werden

$$es = ei + T = +32\mu\text{m} + 19\mu\text{m} = +51\mu\text{m}$$

$$EI = ES - T = -26\mu\text{m} - 19\mu\text{m} = -45\mu\text{m}$$

Somit: $60p6 = 60_{+0.032}^{+0.051}$ mm und $60P6 = 60_{-0.045}^{-0.026}$ mm.

3. Nach Tabelle 1.6 ist $ES = -11\mu\text{m} + \Delta = -11\mu\text{m} + 16\mu\text{m} = +5\mu\text{m}$. Mit der Grundtoleranz $T = 46\mu\text{m}$ nach Tabelle 1.2 wird

$$EI = ES - T = +5\mu\text{m} - 46\mu\text{m} = -41\mu\text{m},$$

Also: $60M8 = 60_{-0.041}^{+0.005}$ mm.

Allgemeintoleranzen dienen der Vereinfachung von technischen Zeichnungen und entsprechen den werkstattüblichen Genauigkeiten. In DIN ISO 2768-1 sind Grenzmaße für Längenmaße, Rundungshalbmesser, Fasenhöhen und Winkelmaße in vier Toleranzklassen festgelegt (Tabelle 1.7). Sie gelten für Maße ohne Toleranzangabe, wenn die Zeichnung einen entsprechenden Vermerk enthält, z. B. Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-1, aber nur bei durch Spanen oder Umformen gefertigten Teilen, sofern nicht für bestimmte Fertigungsverfahren oder Teile besondere Normen bestehen. Sie gelten beispielsweise nicht für Schweißteile oder Freiformschmiedeteile.

Passungsarten und Passungssysteme

Die Beziehung, die sich aus dem Maßunterschied zweier zu paarender Passteile (Bohrung und Welle) ergibt, heißt **Passung**, z. B. zwischen Bohrung $25_0^{+0,15}$ mm und Welle $25_{-0,15}^{-0,05}$ mm oder zwischen Bohrung 25 H7 und Welle 25 m6 (kurz 25 H7/m6). Je nach den Toleranzzonen von Welle und Bohrung (Bild 1.4) kann die Passung bei Ausnutzung des gesamten Toleranzbereiches eine der folgenden Passungsarten sein.

Spielpassung, wenn stets ein Spiel S zwischen den gepaarten Teilen entsteht (Bild 1.4a). Dieses Spiel kann schwanken zwischen einem Höchstspiel und einem Mindestspiel:

$$\text{Höchstspiel } S_g = ES - ei = G_{oB} - G_{uW} \quad (1.3)$$

$$\text{Mindestspiel } S_k = EI - es = G_{uB} - G_{oW} \quad (1.4)$$

Übermaßpassung, wenn stets ein Übermaß U vorhanden ist, d. h. die Welle stets größer als die Bohrung ist (Bild 1.4c). Dieses Übermaß kann schwanken zwischen einem Höchstübermaß und einem Mindestübermaß:

$$\text{Höchstübermaß } U_g = es - EI = G_{oW} - G_{uB} \quad (1.5)$$

$$\text{Mindestübermaß } U_k = ei - ES = G_{uW} - G_{oB} \quad (1.6)$$

Übergangspassung, wenn die Istmaße sowohl ein Spiel als auch ein Übermaß zulassen (Bild 1.4b). In diesem Falle ergibt sich das mögliche Höchstspiel mit Formel 1.3 und das mögliche Höchstübermaß mit Formel 1.5.

Das Istspiel S_i bzw. das Istübermaß U_i ist die Differenz zwischen den Istmaßen von Bohrung und Welle bzw. von Welle und Bohrung. Die Begriffe sind mit DIN EN ISO 286-1 genormt. Da in dieser Norm keine Formelzeichen für Spiele und Übermäße angegeben sind, werden hier weiterhin S_g und S_k (früher Größt- und Kleinstspiel) sowie U_g und U_k (früher Größt- und Kleinstübermaß) verwendet.

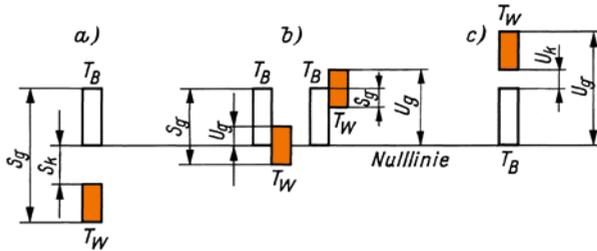


Bild 1.4 Passungsarten
a) Spielpassung, b) Übergangspassung, c) Übermaßpassung

Passtoleranz T_p ist die Toleranz der Passung, d. h. die mögliche Schwankung des Spieles bzw. Übermaßes. Sie ist aber auch gleich der Summe der Toleranzen von Bohrung und Welle. Somit beträgt die

$$\text{Passtoleranz } T_p = S_g - S_k \text{ bei Spielpassung} \quad (1.7)$$

$$T_p = S_g + U_g \text{ bei Übergangspassung} \quad (1.8)$$

$$T_p = U_g - U_k \text{ bei Übermaßpassung} \quad (1.9)$$

$$T_p = T_B + T_W \text{ allgemein} \quad (1.10)$$

Passtoleranzzone (Bild 1.5) ist bei Spielpassungen das Feld zwischen Höchstspiel und Mindestspiel, bei Übergangspassungen zwischen Höchstspiel und Höchstübermaß, bei Übermaßpassungen zwischen Mindestübermaß und Höchstübermaß.

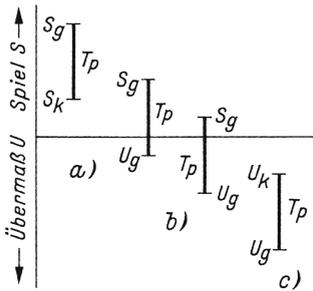


Bild 1.5 Passtoleranzfelder

a) Spielpassung, b) Übergangspassungen, c) Übermaßpassungen

Passfläche ist jede Fläche, an der sich gepaarte Teile berühren, **Passteile** sind die für eine Paarung bestimmten Werkstücke.

Passungssystem ist eine systematische Reihe von Passungen, die durch Kombinieren bestimmter Toleranzklassen für Wellen und Bohrungen entsteht. Man unterscheidet:

- **System Einheitsbohrung EB** (Bild 1.6a). Bei ihm sind für alle Bohrungen (Innenmaße) die Grundabmaße $EI = 0$ (Toleranzfeldlage H), während die Toleranzfelder der Wellen und die oberen Abmaße ES der Bohrungen entsprechend gewählt werden.
- **System Einheitswelle EW** (Bild 1.6b). Bei ihm sind für alle Wellen (Außenmaße) die Grundabmaße $es = 0$ (Toleranzzone h), während die Toleranzzonen der Bohrungen und die unteren Abmaße ei der Wellen entsprechend gewählt werden.

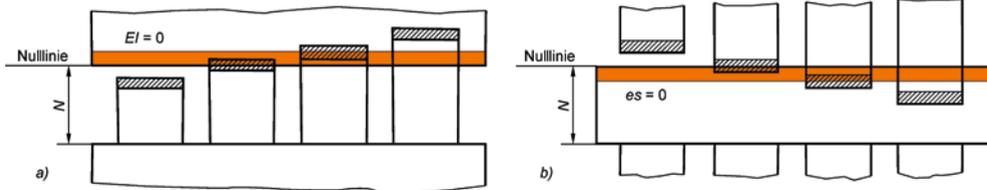


Bild 1.6 Passungssysteme gemäß DIN EN ISO 286-1

a) Einheitsbohrung, b) Einheitswelle



Beispiel 1.4

Es sind das Höchstspiel S_g , das Mindestspiel S_k und die Passtoleranz T_p der Passung einer Bohrung $25_{0}^{+0,15}$ mm und einer Welle $25_{-0,15}^{-0,05}$ mm zu ermitteln.

Lösung:

Nach den Abmaßangaben betragen $ES = 150 \mu\text{m}$, $EI = 0$, $es = -50 \mu\text{m}$ und $ei = -150 \mu\text{m}$, ferner $T_B = 150 \mu\text{m}$ und $T_w = 100 \mu\text{m}$.

Nach Formel 1.3 und Formel 1.4 werden

$$S_g = ES - ei = 150 \mu\text{m} - (-150 \mu\text{m}) = 300 \mu\text{m}$$

$$S_k = EI - es = 0 - (-50 \mu\text{m}) = 50 \mu\text{m}$$

Formel 1.7 oder Formel 1.10 liefern

$$T_p = S_g - S_k = 300 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m} = 250 \mu\text{m}$$

$$T_p = T_B + T_w = 150 \mu\text{m} + 100 \mu\text{m} = 250 \mu\text{m}$$



Beispiel 1.5

Es sind das Höchstspiel S_g , das Mindestspiel S_k und die Passtoleranz T_p der Passung 50 H7/e6 zu ermitteln:

Lösung:

Aus Tabelle 1.2 und Tabelle 1.3 werden entnommen: $T_B = 25\mu\text{m}$, $T_W = 16\mu\text{m}$, $El = 0$ und $es = -50\mu\text{m}$. Somit gilt:

$$ES = El + T_B = 0 + 25\mu\text{m} = +25\mu\text{m}$$

$$ei = es - T_W = -50\mu\text{m} - 16\mu\text{m} = -66\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.3 und Formel 1.4:

$$S_g = ES - ei = +25\mu\text{m} - (-66\mu\text{m}) = 91\mu\text{m}$$

$$S_k = El - es = 0 - (-50\mu\text{m}) = 50\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.7 oder Formel 1.10:

$$T_p = S_g - S_k = 91\mu\text{m} - 50\mu\text{m} = 41\mu\text{m}$$

$$T_p = T_B + T_W = 25\mu\text{m} + 16\mu\text{m} = 41\mu\text{m}$$



Beispiel 1.6

Es sind das Höchstspiel S_g , das Höchstübermaß U_g und die Passtoleranz T_p für die Passung 60 H8/m7 zu ermitteln.

Lösung:

Aus Tabelle 1.2 und Tabelle 1.5 werden entnommen: $T_B = 46\mu\text{m}$, $T_W = 30\mu\text{m}$, $El = 0$ und $ei = +11\mu\text{m}$. Somit gilt:

$$ES = El + T_B = 0 + 46\mu\text{m} = 46\mu\text{m}$$

$$es = ei + T_W = +11\mu\text{m} + 30\mu\text{m} = 41\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.3 und Formel 1.5:

$$S_g = ES - ei = +46\mu\text{m} - 11\mu\text{m} = 35\mu\text{m}$$

$$U_g = es - El = +41\mu\text{m} - 0 = 41\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.8 oder Formel 1.10:

$$T_p = S_g + U_g = 35\mu\text{m} + 41\mu\text{m} = 76\mu\text{m}$$

$$T_p = T_B + T_W = 46\mu\text{m} + 30\mu\text{m} = 76\mu\text{m}$$



Beispiel 1.7

Es sind das Höchstübermaß U_g , das Mindestübermaß U_k und die Passtoleranz T_p für die Passung 100 U7/h6 zu ermitteln.

Lösung:

Aus Tabelle 1.2 und Tabelle 1.6 werden entnommen: $T_B = 35\mu\text{m}$, $T_W = 22\mu\text{m}$, $ES = -124\mu\text{m} + \Delta = -124\mu\text{m} + 13\mu\text{m} = -111\mu\text{m}$ und $es = 0$.

Somit gilt:

$$EI = ES - T_B = -111\mu\text{m} - 35\mu\text{m} = -146\mu\text{m}$$

$$ei = es - T_W = 0 - 22\mu\text{m} = -22\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.5 und Formel 1.6:

$$U_g = es - EI = 0 - (-146\mu\text{m}) = 146\mu\text{m}$$

$$U_k = ei - ES = -22\mu\text{m} - (-111\mu\text{m}) = 89\mu\text{m}$$

Nach Formel 1.9 oder Formel 1.10:

$$T_p = U_g - U_k = 146\mu\text{m} - 89\mu\text{m} = 57\mu\text{m}$$

$$T_p = T_B + T_W = 35\mu\text{m} + 22\mu\text{m} = 57\mu\text{m}$$

Passungsauswahl

In der Regel wird das **System Einheitsbohrung bevorzugt**, weil mit diesem weniger Bohrwerkzeuge (teure Reibahlen), Bohrungslehren und Aufspanndorne für die Bearbeitungsmaschinen gegenüber dem System Einheitswelle benötigt werden. Absätze an Wellen sind leichter herzustellen als in Bohrungen. Das System Einheitsbohrung ist im allgemeinen Maschinenbau, im Werkzeugmaschinenbau, im Eisenbahn- und Kraftfahrzeugbau üblich.

Das **System Einheitswelle wird nur dort angewendet**, wo es unzweifelhaft wirtschaftliche Vorteile bietet, wenn beispielsweise mehrere Teile mit verschiedenen Istmaßen auf eine Welle aus gezogenem Rundstahl montiert werden können, ohne dass es einer spanenden Bearbeitung der Welle bedarf. Das System Einheitswelle ist im Transmissions-, Hebezeug-, Textilmaschinen- und Landmaschinenbau sowie in der Feinwerktechnik gebräuchlich.

Da die Bohrung im allgemeinen schwieriger zu bearbeiten ist als die Welle, ist es vorteilhaft, der Bohrung eine größere Toleranz als der Welle zu geben, z. B. H7/r6 bzw. R7/h6. Das ist auch der Grund für die Ausnahmeregelung der Bohrungsabmaße, damit sich bei beiden Passungssystemen (Einheitsbohrung und Einheitswelle) für gleichartige Passungen wie H7/r6 und R7/h6 gleiche Übermaße ergeben.

Index

Symbole

3D-CAD 42
3D-CAD-Modellierung 45

A

Abbrennstumpfschweißen 218
Abbrenn-Stumpfschweißverbindung 228
abgeleitete Reihe 4
Abmaß 7
Abrasion 551f.
abrasive Beanspruchung 550
Abscherkraft 253
Abschnittsmatrix 515
Absenkung 502
absolute Rauigkeit 990
absolute Viskosität 555
Absperklappe 1005
Absperrorgan 1002
Absperrschieber 1003
Absperrentil 1000
Abtriebsdrehmoment 820
ACEA 557
ACEA-Klassen 557
Achsabstand 877, 907, 924, 947, 961
Achse 476
Achsenwinkel 803, 871
Achskraft 908, 933, 950
Achskraft FW 963
ACM 663
Additive 561
Adhäsion 549, 551
AD-Merkblatt 3, 365
allgemeiner Baustahl 219
Allgemeintoleranz 11, 192
Alterungsbeständigkeit 558, 561
Aluminium 583
Aluminiumbronze 220
Aluminiumlegierung 220
Aluminiumrohr 973
Amontons-Coulomb'sches Reibungs-
gesetz 550
Anfangsvektor 515
Angularfedersteifigkeit 684
Anker 708
Anlassen 60
Anlaufkupplung 717
Anlaufreibung 548
Anpressfeder 703
Anpresskraft 711
Antriebsdrehmoment 378
Antriebsleistung 818
Antriebsmaschine 675
Antriebsnennleistung 871
Antriebsstrang 712
Anwendungsfaktor 811, 813, 839
Anziehungsfaktor 342, 361
Anziehverfahren 340
API 557
API Commercial-Klassen 557
API Service-Klassen 557
äquivalente Belastung 655
Arbeitsdruck 971
Arbeitshub 376
Arbeitsmaschine 675
Arbeitssatz 501
Armatur 998
Armaturentrieb 1006
Armzahl 826
Ashby-Diagramme 51
ATF 558
Aufgabenklärung 28
Aufhängung 985
Auflegestreckung 930, 933, 935
Aufspannbuchse 591
Augenlager 593
Augenschraube 323
Ausarbeitung 30
Ausbeute 915
Ausgleichskupplung 675
Ausklinken 571
Ausknicken 434
Auslastungsgrad 135
Auslaufbahn 1004
Auslaufreibung 548

- Ausnahmereihe 4
 Ausschlagsfestigkeit 360
 Ausschlagspannung 103, 492
 Ausschussprüfung 18
 Außenbackenbremse 726
 Außengewinde 319
 Außenrad 742
 Außenradpaar 797
 Außenteil 282
 äußere Teilkegellänge 805
 Auswuchten 921
 automatisches Getriebe 558
 Automotive-Gleitlager 602
 Axialfedersteifigkeit 684
 Axial-Kippsegmentlager 624
 Axialkraft 813, 869, 882
 Axialkugellager 635
 Axiallager 569, 585, 618, 631
 Axialmodul 876
 Axial-Nadellager 642
 Axial-Pendelrollenlager 634, 642
 Axial-Rillenkugellager 634, 642
 Axialschnitt 876
 Axialsegmentlager 624
 Axialteilung 876
- B**
- Balken 157
 Balkenabschnitt 516
 Balkenelement 522
 Balken-Fachwerk 161
 Balkenproblem 522
 Balligmachen 862
 Baustähle 61
 Bauteilfließgrenze 535
 Bauteilkennwert 66
 Bauteilklasse 128
 Befestigungsschraube 319
 Belastungskennwert 856, 873
 Berechnung der Axiallager 621
 Berechnungsdruck 971
 berührungsfreie Dichtung 669
 Beschleunigungsmoment 713
 Betriebs-Eingriffswinkel 787, 813, 847
 Betriebsfaktor 811, 906
 Betriebsfestigkeit 116, 489
 Betriebs-Flankenspiel 833
 Betriebskraft 355
 Betriebslängskraft 352, 361
 Betriebsspiel 634
 Betriebswälzkreis 787
 Betriebs-Wälzkreisdurchmesser 791
 Betriebszustand 608
 Bewegungsreibung 548
 Bewegungsschraube 374
 Bewertungsgruppe 186
 bezogene Reibungszahl 607
 bezogener Plastizitätsdurchmesser 302
 bezogenes Spannungsgefälle 537
 Bezugs-Planrad 800
 Bezugsprofil 780
 Biegebeanspruchung 198
 Biegefeder 459
 Biegefrequenz 926, 948
 Biegelinie 497
 Biegemoment 77, 479
 Biegespannung 200, 316, 449, 460, 479, 484, 489, 824, 922, 927
 Biegewiderstandsmoment 89
 Biegezugspannung 451
 Bindefestigkeit 247
 Biomedizin-Bereich 370
 Bionik 38
 Blattfeder 459, 461
 Blechmutter 326
 Blei 583
 Bleibronze 582, 586
 Blindniet 263, 268, 272
 Blockfett 563
 Blocklänge 424
 Blow-by-Gas 557
 Bogen 974
 Bogenverzahnung 805
 Bogenzahn-Kupplung 676
 Bohrbuchse 639
 Bolzen 406, 409
 Bolzengewinde 319
 Bolzenschweißen 216
 Bolzenverbindung 404, 408
 Borkenkäfer 587
 BoWex 676
 Brechbolzenkupplung 720
 Breitenballigkeit 840
 Breitenfaktor 840, 845, 848, 851
 Breitenkennwert 965
 Breitkeilriemen 943, 955
 Bremse 726
 Bremsflüssigkeit 729
 Bremskraftverstärker 729
 Bremssattel 730f.
 Bremsscheibe 728
 Bremszange 731
 Brille 662
 Bronze 583
 Bruchdehnung 68
 Bruchsicherheit 909
 Buchsenkette 896
 Buckelschweißen 216
 Buckelschweißverbindung 225
 Bundbuchse 592
 Bürstenhalter 710
- C**
- Castigliano-Verfahren 527
 Cavex-Schneckengetriebe 880
 CFK 54

Compilation 159, 161
Conax-Kupplung 706

D

Dämpfung 686
Dämpfungsarbeit 462, 687
Dämpfungsgrad 686, 689
Dämpfungsleistung 692
Dämpfungsverhalten 684
Dämpfungswärme 692
DAST-Richtlinie 3
Datenverarbeitung 42
Dauerbruch 534
Dauerfestigkeit 69, 445, 584, 855
Dauerfestigkeit für Flankenpressung 848
Dauerfestigkeitsschaubild 69, 106 f., 445, 492
Dauerfestigkeitswert 69
Dauerhaltbarkeit 359, 488
Dauerschaltbetrieb 716
Dauerschwingversuche 103
Dauerwechselfeldmoment 691
Deformation 550
Dehngrenze 68
Dehnschaft 339
Dehnschlupf 915
Dehnschraube 319, 355, 978
Dehnung 85
Dehnungsausgleicher 982
Dehnungsbetrieb 916
Dehnverband 283
Design-FMEA 39
Destillat 561
Detail-Methode 839
DEXRON 558
Dichtlippe 663, 666
Dichtscheibe 635
Dichtung 358, 978
Dickenfaktor 128
Diffusionshemmer 584
DIN 33411 36
DIN EN 60812:2006 39
DIN EN ISO 26800 36
DIN-Norm 2
diskursives Verfahren 31
Dispersion 553
DN 970
Dochtöler 576
Doppelbürstenhalter 710
Doppelgelenkwelle 679
Doppelkeilriemen 954
Doppelkerbstift 407
Doppelparallelplattenschieber 1003
Doppelplattenkeilschieber 1003
Doppelschrägverzahnung 784
Doppelschrägzahn 744
Dornniet 262
Drahtkugellager 644
Drallorientierung 664
Drehbeschleunigung 733
Drehbewegungselement 475
drehelastische Wellenkupplung 681
Drehfeder 416, 448, 453, 456, 732
Drehfederkennlinie 723
Drehfedersteifigkeit 685
Drehflankenspiel 778
Drehmasse 688, 690, 732
Drehmassenmatrix 734
Drehmoment 477, 813
Drehmomentbegrenzer 718
Drehmomentenschlüssel 341, 365
Drehmomentstoß 696
Drehmomentvergrößerungsfaktor 692
drehnachgiebige Kupplung 697
Drehschieber 1004
Drehschrauber 341
Drehschwinger 732
Drehschwingung 533
Drehschwingungsdämpfer 453
Drehstabfeder 453, 455, 533
drehsteife Ausgleichskupplung 675
Drehstoß 681
Drehwinkel 416, 449
Drehwinkelvergrößerung 450
Drehzahlgrundgleichung 764
Drehzahlplan nach Kutzbach 765
Drehzahlwächter 718
Dreischichtlager 586
Dreistofflager 585
Drosselklappe 1005
Druckbeanspruchung 87
Druckbehälter 973
Druckfeder 424, 426, 430, 461
Druckgeräterichtlinie 970
Druckkammerlager 569 f.
Druckluftanlage 707
Druckmutter 338
Druckölverband 283
Druckspannung 87, 265, 379, 479, 489
Druckumlaufschmierung 911
Druckverlust 989 f.
Dunkerley 530
Dünnschichtlackierung 331
Duplexbremse 727
Duplex-Rollenkette 897
Durchbiegung 450, 497
Durchflusswiderstand 1000
durchflutete Lamellenkupplung 709
Durchgangshahn 1004
Durchhang 894
Durchlaufräger 157, 161, 509, 617
Durchsteckschraube 365
Durchsteckverbindung 335
Durchziehniet 263
Duroplaste 52
DVS-Merkblatt 3
Dynamikfaktor 840, 848, 851 f.
dynamisch äquivalente Belastung 647

dynamische Beanspruchung 103, 432, 435, 494
 dynamische Belastung 455
 dynamische Drehfedersteifigkeit 685
 dynamische Stützziffer 112, 491
 dynamische Tragzahl 645
 dynamische Viskosität 555, 603

E

EAS-compact-Kupplung 719
 EAS-NC-Kupplung 719
 Eaton-Pumpe 578
 Eckhahn 1004
 Eckventil 1000
 EG-Maschinenrichtlinie 37
 Eigenfrequenz 418, 529, 733
 Eigengewichtsbetrieb 916
 Eigenspannungsfaktor 129
 Eigenvektor 733
 Eigenwertaufgabe 733
 Einbettfähigkeit 581
 Eindeutigkeit 33
 Einflanken-Wälzprüfung 831
 Einflussfaktor 839
 - der Mittelspannungsempfindlichkeit 540
 - der Oberflächenrauheit 537
 - der Oberflächenverfestigung 537, 539
 Eingriffsbreite 872
 Eingriffslinie 749
 Eingriffspunkt 749
 Eingriffsstörung 788
 Eingriffsstoß 861
 Eingriffsstrecke 751, 794
 Eingriffsteilung 779, 795
 Eingriffswinkel 779
 Eingriffszähnezahl 962
 Einheits-Achsabstand 832
 Einheitsbohrung 13
 Einheitswelle 13
 Einheits-Zahndicke 832
 Einkomponentenkleber 248
 Einlaufverhalten 581
 Einlaufvorgang 602
 Einlegekeil 386
 Einmassenschwinger 687
 Einpresskraft 305
 Einsatzstahl 63, 219
 Einscheiben-Trockenkupplung 704
 Einschraubenverbindung 335
 Einschraubtiefe 340
 Einspannbuchse 591
 Einspannung 80
 Eisen 583
 Eisenbahnpufler 462
 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm 57
 Eisenwerkstoff 56
 elastische Hysterese 550
 elastische Linie 497
 elastische Wellenkupplung 683

elastisch-plastische Beanspruchung 301
 Elastizitätsfaktor 847, 853, 859
 Elastizitätsmodul 68, 103, 288, 330, 421, 438, 470
 Elastohydrodynamik 607
 Elastomere 52
 Elastomerkupplung 685
 elektromagnetische Einflächekupplung 708
 elektromagnetische Lamellenkupplung 710
 Element-Steifigkeitsmatrix 153, 158, 161, 164
 Emulsion 553
 Endlasche 899
 ENSAT 326
 Entwurf 30
 Epizykloid 750
 Epoxidharz 589
 Ergänzungskegel 798f.
 ergonomiegerechte Gestaltung 36
 Ermüdungsfestigkeitsnachweis 119
 Erosionsschaden 588
 Ersatz-Drehfedersteifigkeit 690
 Ersatzquerschnitt 363
 Ersatz-Stirnradpaar 869
 Ersatzsystem 690
 Ersatzzähnezahl 784, 793, 805
 ertragbare Ausschlagsspannung 535
 ETP-Buchse 314
 Euler 97, 381
 Evolventenfunktion 754
 Evolventenverzahnung 752
 Evolventenzahn 745
 Evolventenzahnprofil 394
 Extremultus-Mehrschichtriemen 932
 Exzentrizität 904
 Exzentrizität 571
 Eytelweinsche Gleichung 915, 940

F

Fächelschweißen 230
 Fächerscheibe 332
 Fahrzeugbremse 728
 Fahrzeugfeder 461
 Fangrille 669
 Faserverbunde 54
 FEA 152, 490, 522, 527
 FEA-Programm 162
 FE-Berechnung 45
 Feder 416
 Federarbeit 417
 Federhub 430
 Federkennlinie 417, 470
 Federkraft 437, 465, 711
 Federnachgiebigkeit 417
 Federpaket 442
 Federsäule 442
 Federstähle 63
 Federsteifigkeit 416, 429, 438, 449, 460, 465, 471, 684
 Federtrommel 459
 Federweg 416, 460

- Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse 39
 Feingewinde 321
 Feinkornbaustahl 219
 FEM 152
 fertigungsgerechte Konstruktion 41
 Fertigungssimulation 43, 45
 fester Seifenschaum 562
 Festigkeitsberechnung 83, 999
 Festigkeitskennwert 71
 Festigkeitsklasse 361, 365
 Festigkeitsnachweis 114, 390, 493
 Festkörperreibung 549
 Festlager 80, 635, 637
 Festschmierstoff 553, 565, 589
 Fettdruckbuchse 575
 fettgeschmiertes Gleitlager 607
 Fettkammerschmierung 575
 Fettöl 553, 561
 Fettrillendichtung 671
 Fettschmierung 575, 656
 Fett-Tauchschmierung 833
 Feuerverzinkung 331
 Filzring 662
 Finite-Elemente-Analyse 151, 164, 522
 Finite-Elemente-Methode 151
 Finite-Elemente-Programme 45
 Finite-Elemente-Typen 164
 Fitting 974, 981
 FKM 663
 FKM-Richtlinie 3, 115
 Flächenmoment 2. Grades 203
 Flächenpressung 360, 396
 Flächenträgheitsmomente 89
 Flachkeil 386
 Flachkopfschraube 323
 Flachriementrieb 913, 924
 Flachschieber 1002
 Flammpunkt 558
 Flankenform 878
 Flankenkehlnaht 197
 Flankenlinie 743
 Flankenpressung 380, 387, 391 ff., 401, 854
 Flankenrichtungsabweichung 826
 Flankenspiel 778, 789
 Flankentemperatur 857
 Flankentragfähigkeit 842 f., 858
 Flankenzentrierung 392
 Flanschkupplung 683
 Flanschlager 593, 640
 Flanschverbindung 976, 978, 980
 Flash 584
 Fliehkraftabhebung 725
 Fliehkraftkupplung 717
 Fliehzugkraft 908
 Fliehzugspannung 928
 Flugmotor 579, 594
 Flugzeugbau 272
 fluider Schmierstoff 553
 Flüssigkeitsreibung 549, 571
 Flüssigreibung 549
 Flyerkette 897
 FMEA 39
 Foliennahtschweißen 217
 For-life-Schmierung 657
 Formfaktor 471, 844
 formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen 385
 Formschlussverbindung 385
 Formtoleranz 20, 22
 Formzahl 534, 537, 877
 freie Knicklänge 97
 Freilaufkupplung 721
 Freimaßtoleranz 192
 Freitragger 504
 Frequenzverhältnis 689
 Fresstragfähigkeit 837
 Frischölschmierung 579
 Fugendruck 285
 Fugenpressung 294, 303, 398
 Fügeteil 288
 Fügetemperatur 305
 Führungseinrichtung 904
 Führungslager 569
 Fülldrahtelektroden 177
 Füllsimulation 45
 Fußflanke 750
 Fußkreisdurchmesser 801
 FVA-Referenzöl 558
- ## G
- Galling 837
 Galkette 896
 Galnikal 552
 Gasschmelzschweißen 170
 Geberzylinder 729
 Gefährdungen 34
 Gegenrad 743
 Gehäusegleitlager 593
 Gelbchromatieren 330
 gelenkiges Lager 511
 Gelenkkette 896
 Gelenklager 594
 Gelenkpressung 908
 Gelenkstift 410
 Gelenkverbindung 407
 Gelenkwelle 678
 Genauigkeitsklasse 832
 Geometrieelement 7
 geometrische Produktspezifikation 6
 geometrische Reihe 4
 geometrischer Größeneinfluss 537, 539
 Geradführung 644
 Geradsitz-Durchgangsventil 1000
 Geradzahn 745
 Geradzahnrad 786
 Gerbergelenk 516, 527
 gerollte Buchse 591
 Gesamtdurchbiegung 502, 505

- Gesamteinflussfaktor 536
 Gesamtfedersteifigkeit 420
 Gesamtneigungswinkel 505
 Gesamt-Rundlauf toleranz 22
 Gesamt-Steifigkeitsmatrix 164
 Gesamtüberdeckung 797
 Gesamtübersetzung 819
 Gesamtwirkungsgrad 819, 870, 882
 Gesamtzugkraft 908
 geschlitzte Tellerfeder 468
 Geschwindigkeitsfaktor 848
 Gestaltabweichung 19
 Gestaltänderungsenergie-Hypothese 489, 494
 Gestalten
 - recyclinggerechtes 41
 Gestaltfestigkeit 488
 Gestaltungsregeln 32
 Gestaltungsrichtlinie 190
 Gesundheitsschutzanforderungen 36
 Getriebeöl 556 f., 835
 Getriebewelle 480, 522
 Getriebezug 745, 818
 Gewebe 919
 Gewinde 319
 Gewindebolzen 426
 Gewindemuffe 981
 Gewinderohre 973
 Gewindestift 324, 329
 Gewindestopfen 426
 GFK 54
 Gleichheit der Schubspannung 93
 Gleichlaufgelenke 680
 Gleichmaßdehnung 67
 Gleichstreckenlast 499
 Gleichungssystem 161
 Gleichung von Vogel 558
 Gleit-Bohrreibung 550
 Gleitgeschwindigkeit 598, 834, 868, 873 f.
 Gleitlack 553, 565
 Gleitlager 569, 584, 602
 Gleitlagerscheibe 618
 Gleitlagerwerkstoff 583
 Gleitreibung 548
 Gleitringdichtung 668
 Gleitschicht 585
 Gleitschlupf 913
 Gleitwerkstoff 581
 Gliederkette 896
 Gliederzahl 899, 907
 Globoidschnecke 875
 Glühen 60
 Graphit 53, 553, 564 f.
 Grauguss 65
 Grenzdrehzahl 655
 Grenzmaß 7 f.
 Grenzsichtschmierung 569
 Größenbeiwert 109, 493
 Größeneinfluss 492
 Größenfaktor 845, 849, 854
 Großrad 743, 746
 Grübchen 889
 Grübchenbildung 551
 Grübchentragsfähigkeit 837, 847
 Grundabmaß 10
 Grundgleichung der Balkenbiegung 497
 Grundkreis 750
 Grundkreisdurchmesser 782, 796
 Grundreihe 4
 Grundschrägungswinkel 842, 853
 Grundtoleranzgrad 9
 Gumbel'scher Halbkreis 605
 Gummi 470, 589
 Gummifeder 469, 681
 Gusseisen 56, 64, 315
 Gütegrad 422
 Gutprüfung 18
- ## H
- Habasit-Mehrschichtriemen 934
 Haftbeiwert 305
 Haftkraft 286
 Haftreibwert 366
 Haftschrämstoff 833
 Haftsicherheit 366
 Hahn 998, 1004
 Haigh 107
 Haigh-Diagramm 69
 Hakenöse 426
 Halbrundkerbnägel 407
 halbumschlossenes Lager 609
 Halszapfen 477
 Haltbarkeit der Schraubenverbindungen 359
 Haltebremse 730
 Handschmierung 910
 Harmonische 692
 Härte 471
 Härten 60
 Hartlot 238
 Hartlöten 235
 Hartverchromen 582
 Hastelloy 699
 Hauptverschleißmechanismus 551
 Heizelementschweißen 229
 HELICOIL 326
 Hertz'sche Pressung 98, 722, 837, 859, 889
 Hertz'scher Kontakt 551
 Hexaeder 161
 Hexagonalriemen 954
 Hintereinanderschaltung von Federn 419
 Hirth-Verzahnung 401
 HNBR 663
 hochelastische Flanschkupplung 683
 Hochfrequenzschweißen 231
 Hochlaufzeit 714
 hochlegierter Stahl 64
 Hochtemperaturlöten 233, 237
 Hochtemperaturpaste 564

Hohflankenschnecke 880
 Hohflanken-Zylinderschnecke 880
 Hohlkeil 386
 Hohlriet 268
 Hohlrad 742, 759, 781, 794
 Hohlwelle 476
 homogene Randbedingung 154
 homokinetisches Gelenk 680
 Hooke'sche Gerade 102
 Hooke'sches Gesetz 153
 Hubfestigkeit 433, 445
 Hubspannung 432, 445, 451
 Hüllprinzip 19, 22
 Hülltrieb 894
 Hülsenkette 896, 898
 Hydrauliköl 558
 hydraulische Hohlmantel-Spannbuchse 314
 hydraulische Kupplung 706
 hydraulischer Kettenspanner 904
 hydraulischer Wandler 698
 hydrodynamisches Axiallager 619, 622
 hydrodynamische Schmierung 601
 hydrodynamisches Gleitlager 555
 hydrodynamisches Radiallager 602
 hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager 569
 hydrostatisch geschmiertes Gleitlager 569
 HYGUARD®-Kupplung 720
 Hypoidöl 552
 Hypoid-Schraubradpaar 874
 Hypozykloid 750

I

Ideenfindung 30
 Induktionslöten 235
 Industriebremse 728
 Industrie-Einscheiben-Trockenkupplung 703
 Industriekupplung 702
 Industrie-Scheibenbremse 730
 inhomogene Randbedingung 156
 Innengewinde 319
 Innenradpaar 794, 797
 Innenteil 282
 Innenverzahnung 781
 Innenzentrierung 392
 Integrationskonstante 499
 intuitives Verfahren 31
 ISO 2
 ISO-Toleranzsystem 8
 Istabmaß 8
 Istmaß 7
 Istoberfläche 19

K

Käfig 632
 Kältemaschinenöl 562
 Kalthärter 249, 252
 Kaltriet 261

Kantenpressung 580
 Kapillarviskosimeter 556
 Kardan-Gelenkwelle 678
 Kavitationsschaden 588
 Kegelfeder 467
 Kegelhahn 1004
 kegelige Druckfeder 466
 Kegelrad 743, 778, 798, 805, 818, 825
 Kegelradgetriebe 863
 Kegelreibkupplung 701
 Kegelrollenlager 632, 634, 640, 651
 Kegelrollentrieb 919
 Kegelschmiernippel 575
 Kegel-Spannsätze 311
 Kegelstift 404, 413
 Kegelverbindung 397
 Kegelwinkel 397
 Kehlnaht 181
 Keilriemenscheibe 944
 Keilriementrieb 940
 Keilrippenriemen 943, 946
 Keilschieber 1002
 Keilspalt 570
 Keilspaltverhältnis 622
 Keilstahl 391
 Keilwellenverbindung 392
 Kennzeichnungspflicht 36
 keramisches Lager 589
 Kerbnagel 406
 Kerbquerschnitt 491
 Kerbspannung 110, 490, 533
 Kerbspannungskonzept 533
 Kerbstift 410
 Kerbwirkung 110, 477
 Kerbwirkungszahl 111, 534, 537f.
 Kerbzahl 110
 Kerbzahnprofil 394
 Kernquerschnitt 320
 Kesselformel 462
 Kettenart 896
 Kettengeschwindigkeit 907
 Kettenkraft 908
 Kettenrad 901
 Kettenspanner 904
 Kettenteilung 895
 Kettentrieb 894
 kinematische Viskosität 555
 Kippsegment 620
 Kippsegmentlager 596
 Klammerverbindung 980
 Klappe 998, 1005
 Klauenkupplung 700
 Klebstoff 245
 Klebverbindung 245
 Kleinrad 743, 746
 Klemmrollen-Freilauf 722
 Klemmstück-Freilauf 721
 Klemmwinkel 721
 Knebelkerbstift 407

- Knicklänge 433
 Knicksicherheit 379
 Knickung 96
 Köcherbürstenhalter 710
 Kohäsion 246
 Kolben 556, 577
 Kolbenfresser 586
 Kolbenlöten 234
 Kolbenpumpe 577
 Kolbenring 556
 Kolbenschieberventil 1001
 konsistenter Schmierstoff 564
 Konsistenz 562
 Konsole 985
 Konstruieren 27
 – methodisches 27
 Konstruktionskatalog 31
 Konstruktionsprozess 28
 Konstruktionstechnik 2
 Kontaktklebstoff 248
 Kontaktverschweißung 549
 Kontinuitätsgleichung 988
 Konvektion 599, 623
 Konzeption 29
 Kopfbahn 792
 Kopfflanke 750
 Kopfhöhe 779
 Kopfkreisdurchmesser 782, 801, 880
 Kopfkürzungsfaktor 794
 Kopfschraube 322
 Kopfspiel 779
 Körpermaße des Menschen 37
 Korrosionsschutz 330
 Kostenplanung 37
 Kostenverursachung 37
 Kraft 161
 Kraftamplitude 356
 Krafteinleitungsfaktor 354
 Kräfteplan 76
 Krafftahzeugkupplung 468, 702
 Kraftfluss 338
 kraftschlüssiger Hülltrieb 940
 Kraftverhältnis 351, 361
 Krananlage 726
 Kreisbogenzahn 745
 Kreuzgelenk 678 f.
 Kreuzlochmutter 325
 Kreuzlochschrabe 323
 Kreuzstück 974
 Kristallstruktur 53
 kritische Drehzahl 529
 Kronenmutter 325
 Krümmer 974
 Kugelbüchse 644
 Kugelevolvente 798
 Kugelevolventenverzahnung 799
 Kugelgewindetrieb 381
 Kugelhahn 1004
 Kugellager 632
 Kugelumlaufspindel 380
 Kunststoff 588, 919
 Kunststofffitting 976
 Kunststoffrohr 973
 Kupfer 583
 Kupferrohr 973
 Kupplung 673
 Kupplungsbeiwert 676
 Kupplungsgröße 711
 Kupplungskennlinie 685, 687
 Kurbeltrieb 594
 Kurbelwelle 594, 617
 Kurbelwellengleitlager 596
 Kurzname 61
 Kurzzeitfestigkeit 69
 Kutzbachplan 765
- L**
- Labyrinth 670
 Labyrinthdichtung 670
 Lager 80, 161
 Lagerbohrung 632
 Lagerbuchse 592
 Lagerkraftpolardiagramm 617
 Lagermetall 582, 584
 Lagerreihe 632
 Lagerschaden 586
 Lagerschale 593
 Lagerspiel 594, 601
 Lagertoleranz 20
 Lamellenkupplung 702 f., 711
 laminare Rohrströmung 990
 Laminat 54
 längsbeanspruchte Schraubenverbindung 361
 Längskeil 387
 Längskeilverbindung 385
 Längskraft 286, 479
 Längspressverband 282
 Längspressverbindung 399
 Längsstift 414
 Lastenheft 29
 Lastspiel 356
 Lasttrum 894, 908, 915
 Lasttrumspannung 928
 Laufgeräusche 860
 Lebensdauer 644
 Lebensdauerfaktor 850 f., 854
 Leder 919
 Leertrum 904, 915 f.
 Leertrumkraft 937
 legiertes Öl 561
 Leibung 223, 265, 367
 Leichtmetallniet 262
 Leichtschalthahn 1004
 Leitpaste 564
 Lichtbogenlöten 236
 Lichtstrahllöten 234
 Lichtstrahlschweißen 231

Linearführung 644
 Linear-Kugellager 644
 Linienbelastung 850
 Linksflanke 753
 Linkssteigung 782
 Linsenausgleicher 983
 Linsenbalg 983
 Linsensenkschraube 323
 Lochleibung 265
 Lockern 332
 LOCTITE 334
 lösbare Verbindung 281
 Losdrehen 332
 Losdrehicherung 333
 Loslager 80, 636, 638
 Lot 233
 Löten im Gasofen 234
 Löttemperatur 233
 Lötverbindung 233, 238, 241
 Lötverschraubung 981
 Luftfahrt-Norm 272
 Luftfeder 464
 Luftschlauch-Kupplung 707f.
 Lyra-Bogen 983

M

Magnesiumlegierung 220
 Magnetkupplung 697
 M-Anordnung 680
 Maschinenrichtlinie 35
 Maß 4, 7
 Massenträgheitsmoment 688
 Massivbuchse 591
 Maßreihe 632
 Materialrecycling 41
 Maximum-Material-Bedingung 22
 Maximum-Material-Grenzmaß 8
 Mehrflächengleitlager 596
 Mehrflächenlager 572
 Mehrmassen-Torsionsschwinger 732
 Mehrscheibenkupplung 711
 Mehrschichtriemen 932
 Mehrschraubenverbindung 335
 Mehrstofflager 584
 Mehrwegehahn 1004
 Membranfeder 708
 Membranventil 1000
 Messing 220, 583
 Metalastic-Feder 470
 Metallbalgkupplung 681
 Metalldichtung 979
 Metallfeder 466, 681
 Metall-Kunststoff-Verbundlager 588f.
 Metallkupplung 686
 Metallseife 562
 Metallweichstoffdichtung 979
 methodisches Konstruieren 27
 Mikrodrall 666

Mikroschlupf 550
 Mindestdrehzahl 623
 Mindesteinschraubtiefe 340
 Mindestklemmkraft 354, 361, 366
 Mindestübermaß 289
 Mindestzähnezahl 793
 Mineralöl 553
 Mischreibung 549, 570, 602
 Mischschaltung von Federn 419
 Mitnahmebetrieb 723
 Mittelkraft 356
 Mittelspannung 69, 103, 535
 Mittelspannungsempfindlichkeit 129
 Mittenrauwert 24
 Mittensteigungswinkel 878
 Mittenzylinder 876
 mittlerer Schrägungswinkel 806
 mittlere Teilkegellänge 807
 Modellierung der Fläche 42
 Modul 778, 800, 961
 Molybdändisulfid 553, 561, 564f.
 Momentenanschluss 266
 Montagehülse 667
 Montagepaste 564
 Montagevorspannkraft 344, 354, 361, 366
 Montagevorspannung 344
 Motorenöl 556
 Motorrad-Lamellen-Nasskupplung 706
 Muffe 974
 Muffenverbindung 980
 Mutter 328, 331
 Muttergewinde 319

N

Nachgiebigkeit 347f., 361
 Nadellager 632, 639
 Naht 181
 Nahtdicke 182
 Nahtform 182
 Nahthäufung 191
 Nahtvolumen 191
 Nahtwurzel 191
 Nasenflachkeil 386
 Nasenhohlkeil 386
 Nasenkeil 386
 Nasskupplung 702
 Nasslauf 710
 Nasssumpfschmierung 577, 579
 NBR 663
 Nehmerzylinder 726
 Neigungslinie 500
 Neigungswinkel 502, 505
 Nenndrehmoment 691
 Nenndruck 970
 Nennleistung 811, 928
 Nennmaß 7
 Nennmoment 812
 Nennspannung 533

Nennspannungskonzept 533
 Nennumfangskraft 844
 Nennweite 970
 Newtonsche Flüssigkeit 555
 Nichteisenmetalle 66
 nichtlösbare Verbindungen 167
 nichtmetallischer Lagerstoff 588
 nichtrostender Stahl 219
 nichtschaltbare Kupplung 673
 niedriglegierter Stahl 64
 Nietstift 269
 Nietverbindung 260, 263
 Nietverbindung im Leichtmetallbau 271
 Nietverbindung im Maschinen- und Gerätebau 268
 Nikasil 552
 Nilosring 662f.
 Nitrieren 61
 Nitrierstahl 62
 NLGI-Klasse 562
 nominelle Lebensdauer 645
 Norm 2
 Normaleingriffswinkel 783, 871
 Normalflankenspiel 778
 Normalglühen 61
 Normalisieren 61
 Normalkeilriemen 941
 Normalmodul 783, 806
 Normalprofil 783
 Normalschnitt 876
 Normalspannung 196
 Normalteilung 807, 873
 Normmaß 4
 Normmutter 338
 Normzahl 4
 Notlaufverhalten 581
 Nuklearbereich 369
 Null-Achsabstand 779, 788
 Null-Außenverzahnung 778
 Null-Innenverzahnung 781
 Nulllinie 8
 Null-Rad 787
 Null-Radpaar 788, 803
 Null-Schrägverzahnung 782
 Null-Verzahnung 778
 Nutmutter 325
 Nutzkraft 915

O

O-Anordnung 651, 653
 oberes Abmaß 8
 Oberflächenangabe 26
 Oberflächenbeiwert 109, 492
 Oberflächeneinfluss 492
 Oberflächenzerrüttung 551f.
 Oberkasten 863
 Oberspannung 104
 Ofenlötens 235, 237

Oktoidenverzahnung 798
 Öl 556
 Ölaggregat 590
 Oldham-Kupplung 677
 Ölmenge 586
 Ölnebelschmierung 658
 Ölpumpe 577
 Ölschmierung 657
 Öl-Spritzschmierung 834f.
 Öl-Tauchschmierung 833, 835
 Ölumlaufschmierung 658
 Ölviskosität 888
 O-Ring 668f.
 Ösenform 426
 Ovalnut 592
 Ovalschieber 1002
 Oxidkeramik 589

P

P3G 395
 P4C 395
 Packhahn 1004
 Palloidverzahnung 807
 Parallelschaltung von Federn 419
 Partikelverbunde 54
 Passfedernut 484
 Passfederverbindung 388f., 830
 Passfläche 13
 Passkerbstift 407, 412
 Passmaß 8
 Passschraube 365f.
 Passteil 13
 Passtoleranz 12
 Passtoleranzzone 12
 Passung 4, 7
 Passungsart 11f.
 Passungsrost 583
 Passungssystem 11, 13
 Pendelkugellager 634
 Pendellast 637
 Pendelrollenlager 638
 Penetration 562
 Pfeilzahn 744
 Pflanzenöl 561
 Pflastersteinbildung 587
 Pflichtenheft 29
 Pitting 551, 837
 Planetengetriebe 743, 757
 Planetenträger 759
 Planox-Kupplung 707
 Planverzahnung 780
 plastische Formzahl 126
 plastische Stützzahl 126
 Plastisol 248
 Platte 161
 Plattenschieber 1003
 Pleuellager 594
 Pleuellagersschale 587

PN 970
 Poise 555
 Poissonzahl 67
 polares Flächenmoment 2. Grades 202
 Polflächen-Kupplung 708f.
 Polyadditionsklebstoff 248
 Polyamid (PA) 330, 588
 Polyamid-Zahnrad 829
 Polycarbonat (PC) 330
 Polyethylen 588
 Polygoneffekt 904
 Polygonumschlingung 906
 Polygonwellenverbindung 395
 Polykondensationsklebstoff 248
 Polymerisationsklebstoff 248
 Polynom-Approximation 685
 Polyoxy-methylen (POM) 330
 Polystyrol (PS) 330
 Polytetrafluorethylen 588
 Poly-V-Riemen 596
 Potenzproduktansatz 685
 Pourpoint 558, 561
 Power Grip HTD-Zahnriemen 959, 965
 Präzisionsstahlrohr 973
 Pressschweißverbindung 215
 Presssitz 409
 Pressstumpfschweißen 218
 Pressverband 282
 Produktentstehung nach VDI 2221 27
 Produktklasse 322
 Produktkonfigurator 44
 Produktkosten 37
 Produktlebenszyklus 27
 Produktrecycling 41
 Profilbezugslinie 780
 Profilseitenverschiebung 803
 Profilüberdeckung 795, 802, 807, 862
 Profilverschiebung 787, 869, 877, 883
 Profilverschiebungsfaktor 787, 789
 Projektionsfläche 598
 Prozess-FMEA 39
 Prozesskette 42
 Prüfdruck 971
 Prüfmaß 8
 PTFE 663
 Punktlast 637
 Punktmatrize 516
 Punktschweißen 215
 Punktschweißverbindung 220
 Punktverzahnung 751
 PVD-Verfahren 585

Q

querbeanspruchte Schraubenverbindung 366
 Querdehnzahl 288
 Querkontraktionszahl 67, 102, 438
 Querkraftgelenk 516
 Querpressverband 283
 Querschnittsverhältnis 302
 Querstift 413

R

Rad 742
 Rad aus Kunststoff 827
 Radbreite 887
 Radialfedersteifigkeit 684
 Radial-Gleitlager 598
 Radial-Kippsegmentlager 597
 Radialkraft 813, 869, 881
 Radiallager 569, 591, 597, 631
 Radialspiel 634
 Radial-Wellendichtring 663
 Raffinat 561
 Randbedingung 161, 500
 Randschichtfaktor 128
 Rauheit 24
 Rauheitsfaktor 128, 849
 räumlicher Spannungszustand 93
 Rautiefe 24
 Rechtsflanke 753
 Rechtssteigung 782
 Recycling 41
 Reduktionsverfahren 509
 Reduzierstück 974
 Regelgewinde 321
 Regelorgan 998
 Regleröl 562
 Reibarbeit 714
 Reibbelag 708, 728
 Reibkraft 549, 818
 Reibkupplung 702
 Reibleistung 597f., 607, 622, 667
 reibschlussige Welle-Nabe-Verbindung 282
 Reibschlussverbindung 385
 Reibschweißen 231
 Reibung 548, 818
 Reibungsart 550
 Reibungsmechanismus 549f.
 Reibungsverlust 607
 Reibwert 345, 365
 Reibwinkel 462
 Reibzahl 571
 relative Exzentrizität 603
 relative Lagerbreite 598, 616
 relative Rauigkeit 991
 relativer Oberflächenfaktor 845
 relatives Lagerspiel 601
 relative Stützziffer 845
 relative Übergangs-Exzentrizität 616
 Relaxation 432
 Resonanz 529, 689
 Resonanzdrehzahl 692
 Resonanzfaktor 692
 Restklemmkraft 354
 resultierende Normalspannung 204
 resultierende Schubspannung 202

Reynolds-Zahl 603, 990
 Ribe-Triform 322
 Richtlinie 2
 Richtlinie 2006/42/EG 35
 Riemenbreite 929, 934, 962, 966
 Riemengeschwindigkeit 926, 928, 946, 959
 Riemenlänge 962
 Riemenscheibe 920
 Riemenschloss 941
 Riemenspannkraft 914
 Riemetrieb 913, 918
 Riemenwerkstoff 919
 Rillenkugellager 634f., 642
 Rimostat-Rutschkupplung 718
 Ringfeder 461
 Ringkegel-Spannelement 307
 Ringnut 635
 Ringschmierung 577, 599
 Ringspurlager 618
 Risiko-Prioritätszahl 39
 Ritzel 743, 822
 Rizinusöl 561
 Rohniet 260
 Rohrart 973
 Rohraufhängung 986
 Rohrbogen 975
 Rohrformstück 974
 Rohrführung 986
 Rohrhalterung 985
 Rohrinnendurchmesser 988
 Rohrkraft 983
 Rohrleitung 970, 987
 Rohrleitungsverlust 988
 Rohrniet 269
 Rohrreibungszahl 989
 Rohrschweißverbindung 977
 Rohrverbindung 976
 Rohrverschraubung 981
 Rohrwanddicke 992
 Roll-Bohrreibung 550
 Rollenbettwinkel 900
 Rollendruckkraft 938
 Rollenkette 897, 900, 906
 Rollenlager 632
 Rollennahtschweißen 217
 Rollkreis 750
 Rollreibung 548, 550
 Rotary-Kette 897
 Rotationsviskosimeter 556
 ROTEX®-Kupplung 682
 Rotguss 582f.
 Rückdrehmoment 382
 Rückenkegel 798
 Rückflanke 753
 Rückhub 376
 Rücklaufsperrung 724, 726
 Rückrechnung 161
 Rückschlagklappe 1005
 Rückschlagventil 999

ruhende Belastung 444, 451
 Ruhereibung 548
 Ruhezapfen 477
 Rundgewinde 321
 Rundkeil 413
 Rundlaufgenauigkeit 664
 Rundriemen 954
 Rundschieber 1002
 Rundwertreihe 4
 Rutschkupplung 718
 RWDR 666

S

SAE-Viskositätsklasse 562
 Sägewinde 322, 375
 Sägezahn 700
 Sanftanlaufschaltung 717
 Satz von Castigliano 501
 Schablonenverfahren 798
 Schaft 260
 Schaftschraube 319, 355
 Schale 161
 Schalenkupplung 675
 schaltbare Kupplung 673
 Schaltkupplung 699, 711
 Schaltpause 716
 Schaltvorgang 712
 Schaltvorrichtung 700
 Scheibe 161
 Scheibenbremse 728
 Scheibenfeder 389, 391
 Scheibenkeil 386
 Scheibenkupplung 675
 Scheinviskosität 607
 Schenkelfeder 447, 452
 Scherbeanspruchung 91
 Scherbuchse 365f.
 Scherspannung 223, 242, 253, 264, 366
 Schieber 998, 1002
 Schieberabdichtung 1003
 Schlagschrauber 342
 Schlankheit 433
 Schlauchfeder 666
 schleifende Dichtung 662
 Schleifring 708
 Schleuderring 670
 Schließkopf 261
 Schmalkeilriemen 942
 Schmelzklebstoff 248
 Schmelzschweißverbindung 168
 Schmierfett 553, 562
 Schmierfilmdicke 606
 Schmierfiltemperatur 601
 Schmierhahn 1004
 Schmierkennwert 835, 887
 Schmiernut 573, 592, 618
 Schmieröl 554, 561, 618, 623, 834
 Schmieröldurchsatz 601, 623

- Schmierpaste 553, 564
 Schmierstoff 552, 571, 833
 Schmierstoffart 554
 Schmierstoffbenetzbarkeit 581
 Schmierstofffaktor 848
 Schmier Tasche 573
 Schmierung 548, 834, 887, 910
 Schmierungsart 888
 Schmierwachs 553, 564
 Schnecke 882
 Schneckenbreite 887
 Schneckengetriebe 890 f.
 Schneckenrad 884
 Schneckenradsatz 875, 882, 888 f.
 Schneidringverschraubung 981
 Schnittkräfte 76
 Schnittstellenproblematik 45
 Schrägenfaktor 844, 847, 853
 Schrägkugellager 634, 643, 651
 Schrägstirnrad 874
 Schrägungswinkel 782, 785, 805, 813
 Schrägverzahnung 793, 826
 Schrägzahn 745
 Schrägzahnrad 783
 Schraube 319, 331
 Schraubenanziehmoment 342, 344, 358, 361
 Schraubendrehfeder 447
 Schraubendruckfeder 467
 Schraubenende 324
 Schraubenfeder 421
 Schraubenkopfform 323
 Schraubennut 592
 Schraubenpaste 564
 Schraubenrad 742
 Schraubentellerfeder 467
 Schraubenverbindung 332, 348
 Schraubenzugfeder 425, 434
 Schraubenzusatzkraft 359
 Schraubflächen-SIKUMAT-Kupplung 719
 Schraubmuffe 981
 Schraub-Stirnradpaar 867, 869
 Schraubverbindung 980
 Schrittmodul 731
 Schrumpf-Dehnverband 283, 305
 Schrumpfring 478
 Schrumpfscheiben-Verbindung 311
 Schrumpferverband 283
 Schubbeanspruchung 90, 201
 Schubmodul 421, 470
 Schubspannung 90, 197, 201, 205, 224, 434
 Schulterkugellager 634, 640
 Schutzlippe 663
 Schutzschicht 330
 Schweißbuckel 226
 Schweißen von Kunststoff 229
 Schweißkonstruktion 190
 Schweißlinse 224
 Schweißmutter 325
 Schweißnahtfläche 196
 Schweißprozess 169
 Schweißpunktdurchmesser 222
 Schweißstromquelle 179
 Schweißverbindung 977
 Schweißverbindung im Maschinen- und Gerätebau 207
 Schweißverfahren 168
 Schweißzone 190
 Schwell-Dauerfestigkeit 851
 schwingende Belastung 444, 451
 Schwingfestigkeit 69
 Schwingspielzahl 69, 106
 Schwingungsdämpfer 895
 Schwingungsdämpfung 686
 Schwingungs-Differenzialgleichung 687
 Schwungmoment 688
 Sechskant-Hutmutter 325
 Sechskantmutter 325
 Sechskantschraube 323
 Seegerring 477
 Segment-Spurlager 618
 Selbsthemmung 376, 379, 399, 462, 722, 883
 Selbstschwächung 727
 selbstsichernde Mutter 333
 Selbstspannbetrieb 916
 Selbstverstärkung 726
 Selbstverstärkungseffekt 728
 Senkernagel 407
 Senkschraube 323
 Sensitivitätsanalyse 43
 SERVOMAX® Elastomer-Kupplung 683
 Sespabetrieb 916
 Setzen 332, 350
 Setzkopf 260
 Shore 471
 Sicherheit 34, 114, 494, 889
 – von Maschinen 37
 Sicherheitsfaktor 845, 849, 853
 Sicherheitshaltebremse 730
 Sicherheitskupplung 718
 Sicherheitsorgan 998
 Sicherheitstechnik 34
 Sicherheitsventil 1002
 Sicherungsblech 333
 Sicherungsmutter 333
 Sicherungsring 408, 477, 637
 Sicherungsscheibe 408
 Silikon 52
 Simmerring 666
 Simplexbremse 727
 Simplex-Rollenkette 897
 Sintermetall 582
 Smith, Dauerfestigkeitsschaubild 106
 Smith-Diagramm 69, 492
 Sommerfeld-Zahl 604 f.
 Sommerviskosität 556
 Sondermessing 582
 Sonderschraube 370
 Sonnenrad 745, 759
 Spaltdichtung 669

- Spalthöhe 606
 Spaltlöten 236, 239
 Spalttopf 698
 Spannband 905
 Spannelementverbindung 306
 Spannhülse 366
 Spannlager 640f.
 Spannrad 895, 907
 Spannrolle 945
 Spannrollenbetrieb 916
 Spannrollentrieb 937, 960
 Spannscheibe 333
 Spannschraube 309
 Spannstift 365, 404, 414
 Spannung 84
 Spannung in der Schweißnaht 196
 Spannungsamplitude 535
 Spannungsarmglühen 61
 Spannungsausschlag 359
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 103
 Spannungs-Dehnungs-Kurve 68
 Spannungskollektiv 123
 Spannungskorrekturfaktor 844
 Spannungsnachweis 114
 Spannungsquerschnitt 336
 Spannungsverhältnis 104
 Spannwellenbetrieb 916
 Sperrzahnmutter 334
 Sperrzahnschraube 334
 Spezialschraube 369
 spezifische Lagerbelastung 598, 622
 spezifisches Gleiten 756
 sphärische Evolvente 798
 spielfreie Kupplung 683
 Spielpassung 11
 Spindeln 374
 Spiralschnecke 878
 Spiralspannstift 404, 414
 Spiralwinkel 805
 Spiralzahn 745
 Spitzengrenze 793
 Splint 333, 408
 Sprengring 408, 637
 Spritzrille 671
 Sprung 783
 Sprunggröße 516
 Sprungüberdeckung 867
 Sputterlager 586
 Stab-Fachwerk 161
 Stabfeder 453
 Stabilitätsberechnung 433
 Stahl 62, 219, 315
 Stahlbau 369
 Stahlbolzenkette 896
 Stahlfitting 974
 Stahlguss 65, 315
 Stahlkonstruktion 365
 Stahl lamelle 704
 Stahl-Lamellenkupplung 678
 Stahlniet 261
 Stahlpanzerrohrgewinde 322
 Stahlrohr 972
 Stahlschraube 327
 Standübersetzung 762
 Stanznietverbindung 260
 Starrschraube 355
 statische Beanspruchung 432, 434, 494
 statische Belastung 455
 statische Kennzahl 650
 statischer Festigkeitsnachweis 119
 statische Stützwirkung 536
 statische Tragfähigkeit 646
 statische Tragzahl 646
 Staufferbuchse 575
 Steckmuffe 981
 Steckmuffenverbindung 980
 Steckstift 411
 Steg 759
 Stehlager 593
 Stehlagergehäuse 641
 Steigung 375
 Steigungswinkel 462, 782
 Stellring 478, 637
 Sternscheibenpaket 313
 Sternscheibenverbindung 312
 Stick-Slip-Effekt 564
 Stiftschraube 324
 Stiftverbindung 404
 Stirn-Breitenfaktor 851
 Stirneingriffsteilung 796
 Stirneingriffswinkel 783, 847, 853
 Stirnfaktor 841, 848, 851
 Stirnkehlnaht 197
 Stirnmodul 783, 805, 876
 Stirnprofil 783
 Stirnrad 743, 780, 825
 Stirnradgetriebe 862
 Stirnschnitt 876
 Stirnzahnverbindung 401
 Stirnzapfen 477
 Stockpunkt 558
 Stokes 555
 Stopfbuchs-Dichtung 662
 Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher 983
 Stopfbuchsenmuffe 981
 Streckgrenze 67f., 337, 360, 365, 536
 Striebeck-Kurve 571
 Striebeckische Wälzpressung 834
 Stufensprung 4
 Stufenzahn 744
 Stulpmutter 339
 Stumpfnaht 181
 Stutzen 974, 981
 Stützweite 986
 Stützziffer 492, 537
 Suspension 553
 Synchroflex-Zahnriemen 957, 962
 Synchron einrichtung 701

Synchronriemen 959
 Synchronriementrieb 958
 SYNTEX-Kupplung 719
 Syntheseöl 553, 561
 System Einheitsbohrung 13
 System Einheitswelle 13

T

Taillenschraube 347, 365
 Tandem-Anordnung 653
 Tangentialkraft 811, 869, 882
 Tangentialspannung 462
 Tangentkeil 386
 Taper-Spannbuchse 945, 960
 Tauchschmierung 576, 658, 911
 Taylor-Entwicklung 498
 Taylor'scher Prüfgrundsatz 18
 Teflon 588, 663
 Teilkegellänge 801
 Teilkegelwinkel 799, 805
 Teilkreis 778, 800
 Teilkreisdurchmesser 778, 788, 796, 877, 961
 Teilschmierung 556
 Teilung 778, 803, 901, 959
 Tellerfeder 704
 Tellerfederkupplung 705
 Tellerfeder mit Anlagefläche 440
 Tellerfedersäule 443, 446
 Temperaturfaktor 691
 Temperguss 65, 315
 Tempergussfitting 975
 ternäre Galvanik 584
 Tetmajer 97
 Tetraeder 161
 Thermoplasten 45
 thermoplastische Elastomere 52
 Toleranz 4, 7f., 285
 Toleranzfaktor 9
 Toleranzfamilie 832
 Toleranzgrad 9
 Toleranzklasse 9
 Toleranzzone 9
 toleriertes Maß 8
 Tolerierungsgrundsatz 18
 Tolerierungsprinzip 23
 Tonnenlager 632
 Topfzeit 249
 Torsionsbeanspruchung 91
 Torsionsfedersteifigkeit 684
 Torsionsmoment 479, 528
 Torsionsspannung 379, 428, 479, 489
 Torsionssteifigkeit 688
 Toruselement 161
 TORX-Schraubensystem 322
 Tragbild 862
 Träger 479
 Trägerabschnitt 515

Tragfähigkeit 645, 836, 872, 889
 – des Kegelrads 811
 – des Stirnrads 811
 Tragfähigkeitsberechnung 489, 533
 Trägheitsradius 96
 Tragzahl 623
 Transport-Zahnkette 899
 Trapezgewinde 321, 375
 Trapez Zahn 700
 Treibkeil 385f.
 Trennfugenanzahl 351
 tribochemische Reaktion 551f.
 Tribokorrosion 564
 Tribologie 548
 Tribosystem 581
 Triebart 916
 Triebstockverzahnung 752
 Triplex-Rollenkette 897
 Trockenkupplung 702
 Trockenlauf 710
 Trockenreibung 549
 Trockensumpfschmierung 578
 Trommelbremse 726
 Tropföler 576
 Tropfölschmierung 599
 Tropfschmierung 910
 Trunkraftverhältnis 931
 Trumneigungswinkel 924, 961
 T-Stück 974
 Turbinenlager 596
 Turbokupplung 697
 Turbomaschine 670
 turbulente Rohrströmung 990

U

Überdeckungsfaktor 844, 847, 851, 853
 Übergangsdrehzahl 571, 616
 Übergangspassung 12
 Überholbetrieb 725
 Überholkupplung 724
 Überlappklebung 252
 Überlappschweißen 230
 Überlastkupplung 719
 Übermaßpassung 12, 282
 Übermaßverlust 290
 Überschlagsberechnung 484
 Übersetzung 690, 906, 926, 946, 960
 Übertragungsverfahren 514, 527
 U-Bogen-Dehnungsausgleicher 982
 UKF-Lager 643
 Ultraschallschweißen 231
 Umfangsgeschwindigkeit 813
 Umfangskraft 286
 Umfangslast 637
 Umlaufrädergetriebe 759
 Umlaufschmierung 577
 Umlenkrollentrieb 918
 Umschlingungswinkel 918, 945, 962

Unabhängigkeitsprinzip 18, 22
 UNC-Gewinde 322
 Ungleichförmigkeitsgrad 679
 unlegierter Baustahl 62
 unteres Abmaß 8
 Unterkasten 862
 Unterlegelement 332
 Unterschnitt 792 f.
 Unterspannung 104

V

V-Achsabstand 789
 V-Außenradpaar 790
 VDE-Bestimmung 3
 VDG-Merkblatt 3
 VDI-Richtlinie 3
 VDI-Richtlinie 2234 41
 VDI-Richtlinie 2242 36
 Ventil 998 f.
 Ventildfeder 454
 Verbrennungsmotor 617
 Verbundriemen 920, 954
 verdrehkritische Drehzahl 533
 Verdrehwinkel 457
 Verformung 860
 Vergleichsausschlagspannung 113, 492
 Vergleichsmittelspannung 113, 540
 Vergleichsspannung 201, 379
 Vergrößerungsfunktion 689
 Vergüten 61
 Vergütungsstahl 62, 219
 verhältnismäßige Dämpfung 686
 Verlagerungswinkel 605 f.
 Verlängerung 984
 Verliersicherung 332
 Verlustleistung 714, 991
 Verlustschmierung 579
 Verlustzahl 990, 999
 Verschiebung 161
 Verschleiß 548, 551
 Verschleißschutzadditive 556
 Verschleißtragfähigkeit 837
 Verschleißverringerung 552
 Verschleißwiderstand 582
 Verspannungsschaubild 350
 Verstelleisbe 955
 Verzahnungsart 742
 Verzahnungsfehler 840
 Verzahnungsgesetz 742, 746
 Verzahnungsqualität 830, 832, 841, 887
 Verzahnwerkzeug 793
 Vierkantmutter 325
 Vierkantschraube 323
 Vierpunktlager 634
 V-Innenradpaar 789
 Virtual-Reality-Umgebungen 44
 virtuelle Entwicklung 44
 virtuelles Zähnezahlnverhältnis 799

virtuelle Zähnezahl 799
 Viskosität 554, 571
 Viskositätsindex 558
 Viskositätsklasse 555
 VI-Verbesserer 558, 561
 Vminus-Radpaar 788
 Vnull-Radpaar 788, 803
 Voith-Turbokupplung 697
 Voll-Kunststoffkupplung 683
 Vollschmierung 556
 vollumschlossenes Lager 609
 Vollwelle 476
 Volumenelement 161
 Volumenstrom 988, 998
 Vorschubfreilauf 723
 Vorschweißflansche 978
 Vorsetzen 454
 Vorspannkraft 308, 351, 366, 426
 Vorspannkraftverlust 350, 361
 Vorspannlänge 983
 Vplus-Radpaar 788
 Vulkanisation 470

W

Wälzfräsen 786
 Wälzelenk 897
 Wälzgleiten 756
 Wälzkörper 631
 Wälzkörperformen 632
 Wälzkreis 746, 778
 Wälzlager 631
 Wälzlager-Außenring 638
 Wälzlager-Innenring 637
 Wälzlager-Käfig 632
 Wälzprüfung 830
 Wälzpunkt 746
 Wälzreibung 549 f.
 Wälzstoßen 786
 Wälzverfahren 798
 Wälzylinder 867
 Wanddicke 993
 Wärmebehandlung 58 f.
 Wärmedehnzahl 582
 Wärmeleitkoeffizient 559
 Wärmestrom 599 f., 623, 714
 Wärmeübergangszahl 599, 715
 Wärmeverlust 988
 Warmgaslöten 234
 Warmgasschweißen 230
 Warmhärter 248, 252
 Warmniet 261
 wartungsfreies Gleitlager 627
 Wechselbiegebeanspruchung 478
 Wechselbiegung 489
 Wechselmoment 691
 Weichlot 234, 238
 Weichlötverbindung 242
 Weichlötverfahren 234

Weichstoffdichtung 979
 Weißmetall 582f.
 Welle 476
 Wellenabsatz 537
 Wellendichtung 662
 Wellendurchmesser 485
 Wellenelement 522
 Wellengelenk 680
 Wellenkupplung 673, 683
 Wellenverlagerung 692
 Wellenwerkstoff 668
 Wellrohrausgleicher 982
 Wellrohr-Dehnungsausgleicher 982
 Werknorm 3
 Werkstoff 477
 Werkstoffkennwert 66, 71
 Werkstoffnorm 3
 Werkstoffnummer 61
 Werkstoffpaarungsfaktor 849
 Werkstoffschaubilder 51
 Werkzeugmaschine 392
 Whitworth-Rohrgewinde 321
 Wickelverhältnis 421
 Widerstandslöten 235
 Widerstandsmoment 486
 Widerstandspressschweißen 215
 Widerstandszahl 990
 Willisgleichung 764
 Windungsdurchmesser 421
 Winterviskosität 556
 wirksames Übermaß 288
 Wirkungsgrad 378, 818, 867, 881f.
 Wöhlerdiagramm 69, 105

X

X-Anordnung 651, 653

Z

Zahnbreite 801, 825, 902
 Zahndicke 754
 Zähnezahlfaktor 906
 Zähnezahlverhältnis 745, 876
 Zahnflanke 749
 Zahnfußnennspannung 845, 851
 Zahnfußspannung 844, 851, 857
 Zahnfußtragfähigkeit 836, 844, 850, 857
 Zahnkette 897f.
 Zahnkraft 479, 811, 814, 869, 881
 Zahnkupplung 699

Zahnrad 742
 Zahnradpaar 867
 Zahnradpumpe 578
 Zahnriementrieb 957
 Zahnscheibe 333, 957
 Zahnstange 742, 780, 790
 Zahnstangenprofil 781
 Zahnstangenradpaar 781
 Zahntemperatur 857
 Zahnverformung 861
 Zahnwellenverbindung 394
 Z-Anordnung 680
 Zapfen 477
 ZA-Schnecke 878
 Zeitfestigkeit 69, 445, 855
 Zeitkonstante 715
 Zeit-Schwellfestigkeit 857
 Zeitwältfestigkeit 859
 Zertifizierung im Metallbau 187
 Ziehschweißen 230
 Zink 583
 Zinn 583
 Zinnbronze 220
 ZI-Schnecke 878, 880
 Zitronenspiellager 572
 ZK-Schnecke 879
 ZN-Schnecke 878
 Zonenfaktor 847, 853
 Zugfeder 425, 429
 Zugfestigkeit 68
 Zugkraft 908, 957
 Zugmutter 339
 Zugscherfestigkeit 241, 254
 Zugspannung 242, 265
 Zugversuch 66
 zulässige Fugenpressung 295, 301
 zusammengesetzte Beanspruchung 93
 Zustandsdiagramm 57
 Zweiflanken-Wälzprüfung 831
 Zweikomponentenklebstoff 249
 Zweimassenschwinger 688, 690
 Zweischeibenkupplung 707
 Zweischichtlager 587
 Zylinderkerbstift 407, 414
 Zylinderlaufbahn 556, 577
 Zylinderrad 742
 Zylinderrollenlager 631, 634
 Zylinderschnecke 875
 Zylinderschraube 323
 Zylinderstift 404
 zylindrischer Pressverband 285