

# 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

<b>Vorwort</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Hinweise zur Benutzung des Buches</b> .....	<b>XV</b>
<b>Teil 1: Grundlagen</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Konstruktionstechnik</b> .....	<b>2</b>
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
<b>2 Werkstoffe</b> .....	<b>50</b>
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
<b>3 Festigkeitsberechnungen</b> .....	<b>74</b>
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
<b>Teil 2: Nichtlösbare Verbindungen</b> .....	<b>167</b>
<b>4 Schmelzschweißverbindungen</b> .....	<b>168</b>
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
<b>5</b>	<b>Pressschweißverbindungen .....</b>	<b>215</b>
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
<b>6</b>	<b>Lötverbindungen .....</b>	<b>233</b>
6.1	Verfahren, Lote .....	233
6.2	Gestaltung von Lötverbindungen .....	239
6.3	Berechnung von Lötverbindungen .....	241
6.4	Verständnisfragen .....	244
<b>7</b>	<b>Klebverbindungen .....</b>	<b>245</b>
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
<b>8</b>	<b>Nietverbindungen .....</b>	<b>260</b>
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
<b>Teil 3: Lösbare Verbindungen .....</b>		<b>281</b>
<b>9</b>	<b>Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen .....</b>	<b>282</b>
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
<b>10</b>	<b>Befestigungsschrauben</b>	<b>319</b>
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
<b>11</b>	<b>Bewegungsschrauben</b>	<b>374</b>
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
<b>12</b>	<b>Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen</b>	<b>385</b>
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
<b>13</b>	<b>Stift- und Bolzenverbindungen .....</b>	<b>404</b>
13.1	Stifte .....	404
13.2	Bolzen .....	407
13.3	Festigkeitsberechnung .....	409
13.4	Verständnisfragen .....	415
<b>14</b>	<b>Federn .....</b>	<b>416</b>
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
<b>Teil 4:</b>	<b>Drehbewegungselemente .....</b>	<b>475</b>
<b>15</b>	<b>Achsen und Wellen .....</b>	<b>476</b>
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
<b>16</b>	<b>Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß .....</b>	<b>548</b>
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
<b>17</b>	<b>Gleitlager .....</b>	<b>569</b>
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
<b>18</b>	<b>Wälzlager .....</b>	<b>631</b>
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
<b>19</b>	<b>Lager- und Wellendichtungen .....</b>	<b>662</b>
19.1	Schleifende Dichtungen .....	662
19.2	Berührungsfreie Dichtungen .....	669
19.3	Verständnisfragen .....	672
<b>20</b>	<b>Wellenkupplungen und -bremsen .....</b>	<b>673</b>
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
<b>Teil 5: Zahnräder .....</b>		<b>741</b>
<b>21</b>	<b>Grundlagen für Zahnräder und Getriebe .....</b>	<b>742</b>
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
<b>22</b>	<b>Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder .....</b>	<b>778</b>
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
<b>23</b>	<b>Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder .....</b>	<b>811</b>
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
<b>24</b>	<b>Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen .....</b>	<b>867</b>
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
	<b>Teil 6: Hülltriebe .....</b>	<b>893</b>
<b>25</b>	<b>Kettentriebe .....</b>	<b>894</b>
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
<b>26</b>	<b>Flachriementriebe .....</b>	<b>913</b>
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



<b>27</b>	<b>Keilriementriebe</b> .....	<b>940</b>
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
<b>28</b>	<b>Synchron- oder Zahnriementriebe</b> .....	<b>957</b>
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
<b>Teil 7: Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase</b> .....		<b>969</b>
<b>29</b>	<b>Rohrleitungen</b> .....	<b>970</b>
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
<b>30</b>	<b>Armaturen</b> .....	<b>998</b>
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
<b>Index</b> .....		<b>1008</b>



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](http://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](http://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)  $\mu$  und für die Querkontraktionszahl  $\nu$  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  $\text{min}^{-1}$  angegeben. Für mechanische Spannungen und Drücke wird konsequent  $\text{N/mm}^2$  angegeben.

Ergänzende Arbeitsmaterialien in Form von Excel-Berechnungsprogrammen und Videos sind unter [plus.hanser-fachbuch.de](http://plus.hanser-fachbuch.de) verfügbar. Darüber hinaus werden unter [www.baymp.de](http://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,  $\mu$  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

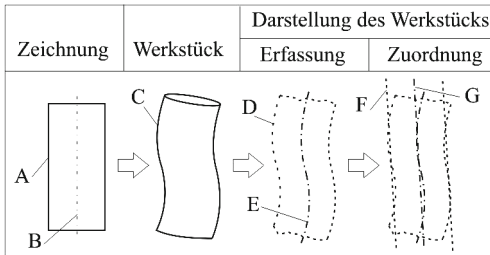
In der zweiten Dimension der GPS-Matrix werden *geometrische Eigenschaften* betrachtet wie:

- 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.

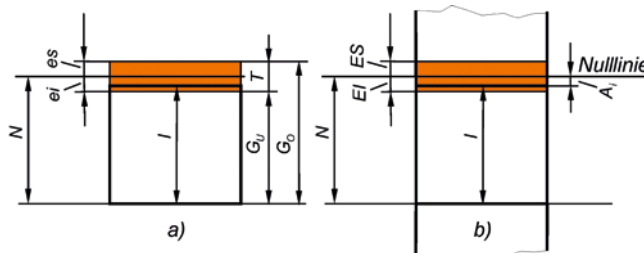
Die Grundlagen für Abmaße und Toleranzen des ISO-Systems für Grenzmaße und Passungen sind in DIN EN ISO 286 festgelegt. Nachfolgend werden einige wichtige Begriffe erläutert (vgl. auch Bild 1.2).

**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.

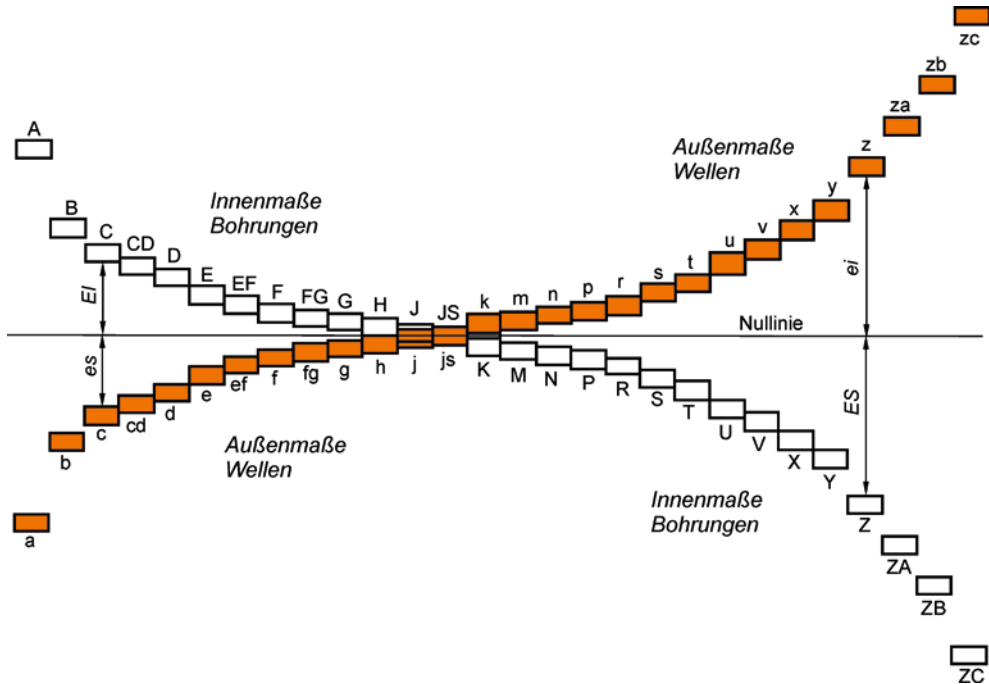
**Wirksames Grenzmaß**  $MMVL$  (maximum material virtual limit) ist das Grenzmaß, das sich als Summe von Maximum-Material-Grenzmaß  $MML$  und der dem Geometrieelement zugeordneten Formtoleranz  $t$  ergibt. Es repräsentiert den für die Paarung ungünstigsten Fall.

**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  $\mu\text{m}$  auf 1  $\mu\text{m}$  genau, bis 200  $\mu\text{m}$  auf 5  $\mu\text{m}$  genau, bis 500  $\mu\text{m}$  auf 10  $\mu\text{m}$  genau. Beispiel: errechnet  $T = 183,22\mu\text{m}$ , gerundet auf 185  $\mu\text{m}$ , oder errechnet  $T = 324,8\mu\text{m}$ , gerundet auf 320  $\mu\text{m}$ .

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:



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

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

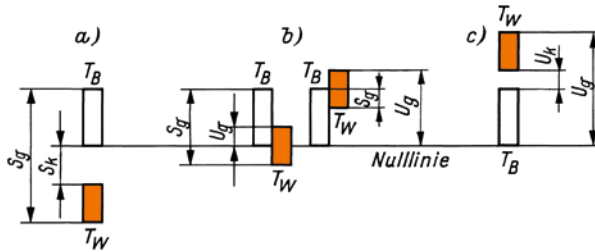
**Übermaßpassung**, wenn stets ein Übermaß  $U$  vorhanden ist, d. h. die Welle stets größer als die Bohrung ist (Bild 1.4c). Dieses Übermaß kann schwanken zwischen einem Höchstübermaß und einem Mindestübermaß:

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

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

**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.

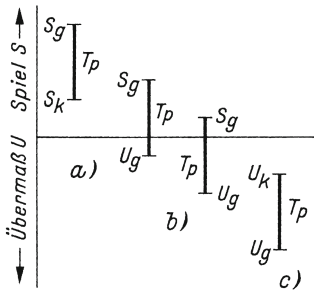


Bild 1.5 Passtoleranzfelder

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.

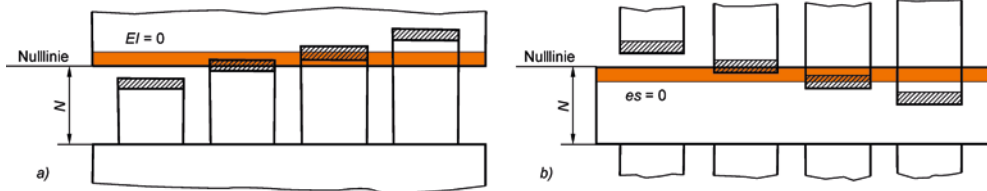


Bild 1.6 Passungssysteme gemäß DIN EN ISO 286-1

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  
 Exzentranspanner 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  
 Hartlötten 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  
 Hochtemperaturlötten 233, 237  
 Hochtemperaturpaste 564

Hohlflankenschnecke 880  
 Hohlflanken-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  
 Polyoxymethylen (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  
 Rohralterung 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 792f.  
 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 998f.  
 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 605f.  
 Verlängerung 984  
 Verliersicherung 332  
 Verlustleistung 714, 991  
 Verlustschmierung 579  
 Verlustzahl 990, 999  
 Verschiebung 161  
 Verschleiß 548, 551  
 Verschleißschutzadditive 556  
 Verschleißtragfähigkeit 837  
 Verschleißverringern 552  
 Verschleißwiderstand 582  
 Verspannungsschaubild 350  
 Verstelleiche 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 549f.  
 Wälzstoßen 786  
 Wälzverfahren 798  
 Wälzylinder 867  
 Wanddicke 993  
 Wärmebehandlung 58f.  
 Wärmedehnzahl 582  
 Wärmeleitkoeffizient 559  
 Wärmestrom 599f., 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  
 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-Schwelfestigkeit 857  
 Zeitwälfestigkeit 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