

<b>A</b>	<b>STATIK</b>	
<b>A1</b>	<b>Die Verknüpfung von Physik und Technik</b>	<b>3</b>
1.1	Bedeutung der klassischen Physik für die Technik	3
1.1.1	Zweige und Entwicklungszeiträume der klassischen Physik	3
1.2	Bedeutung der „Mechanik der festen Körper“ für technische Problemlösungen	4
1.2.1	Teilgebiete der Technischen Mechanik	4
	• Statik	4
	• Kinematik	5
	• Kinetik	6
	• Dynamik	6
	• Festigkeitslehre	6
1.3	Berechnungsmethoden der Statik	7
1.4	Zustandsform der Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften	8
<b>A2</b>	<b>Kraft und Kraftmoment</b>	<b>10</b>
2.1	Basisgrößen und abgeleitete Größen	10
2.2	Physikalische Größen der Statik	10
2.2.1	Kraft und Kraftmoment als physikalische Größen	10
	• Krafteinheit	10
	• Gewichtskraft und die alte Krafteinheit	11
	• Das Kraftmoment	11
2.2.2	Wirkungen der Kraft auf einen Körper	12
2.2.3	Kraft als Vektor und die Kraftmerkmale	13
	• Erweiterungssatz	13
	• Längsverschiebungssatz	14
	• Richtung einer Kraft im rechtwinkligen Koordinatensystem	14
<b>A3</b>	<b>Freiheitsgrade eines Körpers</b>	<b>17</b>
3.1	Freiheitsgrade eines Körpers in der Ebene	17
3.2	Freiheitsgrade eines Körpers im Raum	17
<b>A4</b>	<b>Freimachen von Bauteilen</b>	<b>18</b>
4.1	Wechselwirkungsgesetz	18
4.2	Freimachen	18
4.2.1	Regeln für das Freimachen von Bauteilen	20
<b>A5</b>	<b>Kräfte auf derselben Wirkungslinie</b>	<b>24</b>
5.1	Hauptaufgaben der Statik	24
5.1.1	Die erste Hauptaufgabe der Statik	24
5.1.2	Die zweite Hauptaufgabe der Statik	24
5.2	Die zwei Kräftesysteme der Statik	24
5.3	Sonderfall des zentralen Kräftesystems: gemeinsame Wirkungslinie	25
5.3.1	Zeichnerische Ermittlung der Resultierenden	25
5.3.2	Rechnerische Ermittlung der Resultierenden	26
<b>A6</b>	<b>Zusammensetzen von zwei Kräften, deren Wirkungslinien (WL) sich schneiden</b>	<b>28</b>
6.1	Anwendung des Längsverschiebungssatzes	28
6.2	Der Parallelogrammsatz	28

<b>A7</b>	<b>Zerlegung einer Kraft in zwei Kräfte</b>	<b>32</b>
7.1	Die Richtungen beider Kraftkomponenten sind bekannt	32
7.1.1	Horizontal- und Vertikalkomponente	32
7.2	Größe und Richtung einer Kraftkomponente sind bekannt	33
7.3	Das Übertragen der Krafrichtungen vom LP in den KP	33
<b>A8</b>	<b>Zusammensetzen von mehr als zwei in einem Punkt angreifenden Kräften</b>	<b>38</b>
8.1	Lösung der Aufgabe mit mehreren Kräfteparallelogrammen	38
8.2	Lösung mittels Krafteck	38
<b>A9</b>	<b>Erste Gleichgewichtsbedingung der Statik</b>	<b>41</b>
9.1	Das geschlossene Krafteck bei Kräftegleichgewicht	41
9.2	Rechnerische Ermittlung der Resultierenden aus den Horizontal- und Vertikalkomponenten	41
<b>A10</b>	<b>Bestimmung unbekannter Kräfte im zentralen Kräftesystem</b>	<b>45</b>
10.1	Kräftegleichgewicht im Zentralpunkt	45
10.1.1	Zeichnerische Ermittlung unbekannter Kräfte	45
10.1.2	Rechnerische Ermittlung unbekannter Kräfte	46
	• Die Vorzeichenregel	46
<b>A11</b>	<b>Zeichnerische Ermittlung der Resultierenden im allgemeinen Kräftesystem</b>	<b>49</b>
11.1	Nochmalige Definition des allgemeinen Kräftesystems	49
11.2	Wiederholte Konstruktion des Kräfteparallelogrammes	50
11.3	Verwendung von Zwischenresultierenden	50
<b>A12</b>	<b>Zeichnerische Ermittlung der Resultierenden mit dem Seileckverfahren</b>	<b>52</b>
12.1	Erforderlichkeit eines universellen Lösungsverfahrens zur zeichnerischen Ermittlung der Resultierenden im allgemeinen Kräftesystem	54
12.2	Zusammensetzen von zwei Kräften mit der Seileckkonstruktion	54
12.2.1	Lösungsverfahren	54
12.2.2	Konstruktionsbegründung	55
12.2.3	Begriffe	55
12.3	Zusammensetzen von mehr als zwei Kräften mit der Seileckkonstruktion	55
12.3.1	Lösungsschritte	55
12.3.2	Konstruktionsbegründung	56
<b>A13</b>	<b>Kräfte als Ursache einer Drehbewegung</b>	<b>59</b>
13.1	Kraftmoment der Resultierenden	59
13.2	Drehrichtung und wirksamer Hebelarm	59
13.2.1	Drehsinn und Vorzeichen des Drehmomentes	59
13.2.2	Das resultierende Drehmoment	60
13.2.3	Erzeugung von Drehmomenten durch Schrägkräfte	60
13.3	Die zweite Gleichgewichtsbedingung der Statik	61
13.4	Kräftepaar und der Parallelverschiebungssatz	62
<b>A14</b>	<b>Rechnerische Ermittlung der Resultierenden im allgemeinen Kräftesystem</b>	<b>65</b>
14.1	Der Momentensatz	65
14.2	Bestimmung der Resultierenden mit Hilfe des Momentensatzes	65

<b>A15</b>	<b>Bestimmung der Auflagerkräfte beim Träger auf zwei Stützen</b>	<b>68</b>
15.1	Rechnerische Bestimmung der Auflagerkräfte .....	68
15.2	Zeichnerische Bestimmung der Auflagerkräfte .....	70
<b>A16</b>	<b>Bestimmung von Schwerpunkten mittels Momentensatz</b>	<b>73</b>
16.1	Der Schwerpunkt als Massenmittelpunkt .....	73
16.2	Linien Schwerpunkte .....	74
16.2.1	Gerade Linie (Strecke) .....	74
16.2.2	Gerader Linienzug .....	74
16.2.3	Gekrümmte Linie .....	76
16.3	Flächenschwerpunkte .....	76
16.3.1	Schwerpunktlage von Einzelflächen .....	76
16.3.2	Schwerpunktlage von zusammengesetzten Flächen .....	77
16.4	Körperschwerpunkte .....	79
<b>A17</b>	<b>Bestimmung von Schwerpunkten mittels Seileckkonstruktion</b>	<b>83</b>
17.1	Zeichnerische Bestimmung von Linien Schwerpunkten .....	83
17.2	Zeichnerische Bestimmung von Flächenschwerpunkten .....	84
<b>A18</b>	<b>Gleichgewicht und Kippen</b>	<b>85</b>
18.1	Die Gleichgewichtsarten .....	85
18.2	Die Standfestigkeit der Körper .....	86
18.3	Kippsicherheit .....	86
<b>A19</b>	<b>Regeln von Guldin</b>	<b>89</b>
19.1	Volumenberechnung .....	89
19.2	Oberflächenberechnung (Mantelberechnung) .....	90
<b>A20</b>	<b>Statisch bestimmtes ebenes Fachwerk</b>	<b>90</b>
20.1	Fachwerkdefinition .....	92
20.2	Das ideale Fachwerk .....	92
20.3	Bedingung des statisch bestimmten Fachwerkes .....	93
20.4	Fachwerkformen .....	93
<b>A21</b>	<b>Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels Krafteck</b>	<b>95</b>
<b>A22</b>	<b>Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels Cremonaplan</b>	<b>98</b>
<b>A23</b>	<b>Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels Culmann'schem Schnittverfahren</b>	<b>100</b>
<b>A24</b>	<b>Rechnerische Stabkraftermittlung mittels Ritter'schem Schnittverfahren</b>	<b>102</b>
<b>A25</b>	<b>Die Reibungskräfte</b>	<b>105</b>
25.1	Äußere und innere Reibung .....	105
25.2	Haft- und Gleitreibung .....	105
25.3	Das Reibungsgesetz nach Coulomb .....	106
25.3.1	Die Reibungszahl .....	106
	• Die Einflussparameter der Reibungszahl .....	107

<b>A26</b>	<b>Reibung auf der schiefen (geneigten) Ebene</b>	<b>110</b>
26.1	Bestimmung der Reibungszahlen	110
26.2	Selbsthemmung	111
26.2.1	Selbsthemmungskriterien	111
26.2.2	Reibungsdreieck und Reibungskegel	111
26.3	Wirkkräfte auf der schiefen Ebene	113
26.3.1	Kraft parallel zur schiefen Ebene	113
	• Zugkraft bei Aufwärtsbewegung	113
	• Haltekraft bei Abwärtsbewegung	114
26.3.2	Kraft parallel zur Grundfläche der schiefen Ebene	115
	• Aufwärtsbewegung	115
	• Abwärtsbewegung	116
<b>A27</b>	<b>Reibung an Geradführungen</b>	<b>119</b>
27.1	Flachführungen	119
27.2	Prismenführungen	119
27.2.1	Unsymmetrische Prismenführung	120
27.2.2	Symmetrische Prismenführung	120
27.3	Zylinderführungen	121
<b>A28</b>	<b>Reibung in Gleitlagern</b>	<b>123</b>
28.1	Tragzapfen (Querlager)	123
28.2	Spurzapfen (Längslager)	123
<b>A29</b>	<b>Gewindereibung</b>	<b>125</b>
29.1	Bewegungsgewinde	125
29.1.1	Schraube mit Flachgewinde	125
29.1.2	Schraube mit Spitzgewinde oder Trapezgewinde	126
29.2	Befestigungsgewinde	128
<b>A30</b>	<b>Seilreibung</b>	<b>130</b>
<b>A31</b>	<b>Reibungsbremsen und Reibungskupplungen</b>	<b>133</b>
31.1	Reibungsbremsen	133
31.1.1	Backenbremsen	133
31.1.2	Bandbremsen	134
	• Einfache Bandbremse	135
	• Die Summenbandbremse	135
	• Die Differentialbandbremse	135
31.1.3	Scheibenbremsen	135
31.2	Reibungskupplungen	136
<b>A32</b>	<b>Rollreibung</b>	<b>138</b>
32.1	Der Rollwiderstand	138
32.2	Der Fahrwiderstand	139
32.2.1	Die Rollbedingung	140

<b>B</b>	<b>DYNAMIK</b>	
<b>B1</b>	<b>Gleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>145</b>
1.1	Bewegungskriterien und Geschwindigkeit .....	145
1.2	Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit .....	148
<b>B2</b>	<b>Ungleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>151</b>
2.1	Merkmale einer ungleichförmigen Bewegung .....	151
2.1.1	Definition der Beschleunigung .....	151
2.2	Die ungleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung .....	152
2.3	Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung .....	152
2.3.1	Beschleunigung aus dem Ruhezustand .....	152
2.3.2	Gleichmäßige Beschleunigung bei vorhandener Anfangsgeschwindigkeit .....	154
2.4	Verzögerte Bewegungen .....	155
2.4.1	Die gleichmäßig verzögerte Bewegung .....	155
2.5	Freier Fall und senkrechter Wurf nach oben .....	157
2.5.1	Fallbeschleunigung .....	157
2.6	Weitere Formeln zur gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung .....	159
2.6.1	Gleichmäßige Beschleunigung mit $v_0 = 0$ und gleichmäßige Verzögerung mit $v_t = 0$ .....	159
2.6.2	Gleichmäßige Beschleunigung mit $v_0 \neq 0$ und gleichmäßige Verzögerung mit $v_t \neq 0$ .....	154
<b>B3</b>	<b>Zusammensetzung von Geschwindigkeiten</b>	<b>162</b>
3.1	Vektoren und Skalare .....	162
3.2	Das Überlagerungsprinzip bei geradlinigen Bewegungen .....	162
3.3	Das Überlagerungsprinzip bei kreisförmigen Bewegungen .....	163
3.4	Die vektorielle Addition von Geschwindigkeiten .....	164
3.5	Führungs-, Relativ- und Absolutgeschwindigkeit .....	166
<b>B4</b>	<b>Freie Bewegungsbahnen</b>	<b>168</b>
4.1	Der Grundsatz der Unabhängigkeit .....	168
4.2	Der schiefe Wurf .....	168
4.2.1	Zerlegen eines Vektors in seine Komponenten .....	170
4.3	Der waagerechte Wurf .....	171
<b>B5</b>	<b>Trägheit der Körper</b>	<b>174</b>
5.1	Das erste Newton'sche Axiom .....	174
5.2	Das zweite Newton'sche Axiom .....	175
5.2.1	Die Krafteinheit .....	176
5.2.2	Die Gewichtskraft .....	176
<b>B6</b>	<b>Das Prinzip von d'Alembert</b>	<b>179</b>
6.1	Erweitertes dynamisches Grundgesetz .....	179
6.1.1	Bewegung auf horizontaler Bahn .....	179
6.1.2	Bewegung auf vertikaler Bahn .....	180
6.1.3	Bewegung auf der schiefen Ebene .....	182
	• Die Steigung auf der schiefen Ebene .....	182
	• Kräfte bei beschleunigter Aufwärtsbewegung auf der schiefen Ebene .....	183
	• Kräfte bei beschleunigter Abwärtsbewegung auf der schiefen Ebene .....	183

<b>B7</b>	<b>Kurzzeitig wirkende Kräfte</b>	<b>186</b>
7.1	Die Bewegungsgröße (Impuls) .....	186
7.1.1	Die Impulsänderung eines Körpers .....	186
7.1.2	Die Impulserhaltung .....	187
7.2	Der Stoß .....	188
7.2.1	Der unelastische Stoß .....	189
7.2.2	Der elastische Stoß .....	189
7.2.3	Der halbelastische Stoß .....	192
7.2.4	Der schiefe Stoß .....	192
<b>B8</b>	<b>Arbeit und Energie</b>	<b>193</b>
8.1	Die mechanische Arbeit .....	193
8.1.1	Die zeichnerische Darstellung der mechanischen Arbeit .....	194
8.1.2	Die Arbeitskomponente der Kraft .....	194
8.1.3	Der physikalische Unterschied zwischen mechanischer Arbeit und Drehmoment ..	195
8.2	Energiearten und Energiespeicherung .....	195
8.3	Die Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie .....	196
8.3.1	Hubarbeit und potentielle Energie .....	196
	• Arbeit auf der schiefen Ebene und die goldene Regel der Mechanik .....	196
8.3.2	Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie .....	199
	• Umwandlung von potentieller Energie in kinetische Energie .....	200
8.4	Der Energieerhaltungssatz und Beispiele der Energieerhaltung .....	200
8.4.1	Energieerhaltung bei der Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie .....	201
8.4.2	Energieerhaltung beim wirklichen Stoß .....	202
8.5	Weitere Formen der mechanischen Arbeit .....	203
8.5.1	Die Kolbenarbeit .....	203
8.5.2	Die Federspannarbeit als Formänderungsarbeit .....	204
	• Federspannarbeit bei der Verformung aus ungespanntem Zustand .....	204
	• Federspannarbeit bei der Verformung einer Feder mit Vorspannung .....	205
<b>B9</b>	<b>Mechanische Leistung</b>	<b>207</b>
9.1	Leistung als Funktion von Energie und Zeit .....	207
9.2	Leistung als Funktion von Kraft und Geschwindigkeit .....	208
<b>B10</b>	<b>Reibungsarbeit und Wirkungsgrad, Reibungsleistung</b>	<b>210</b>
10.1	Reibungsarbeit .....	210
10.2	Energieumwandlung bei der Reibung .....	211
10.2.1	Umwandlung von Reibungsarbeit in Wärmeenergie .....	211
10.2.2	Umwandlung von Reibungsarbeit in Schwingungsenergie .....	211
10.3	Der mechanische Wirkungsgrad .....	212
10.3.1	Der Gesamtwirkungsgrad einer Maschinenanlage .....	213
10.4	Die Reibungsleistung .....	214
<b>B11</b>	<b>Wirkungsgrad wichtiger Maschinenelemente und Baugruppen</b>	<b>216</b>
11.1	Gerade Führungen .....	216
11.1.1	Flachführungen .....	216
11.1.2	Symmetrische Prismenführung .....	217
11.1.3	Unsymmetrische Prismenführung .....	217
11.1.4	Zylinderführung .....	217

11.2	Schraubenwirkungsgrad .....	218
11.2.1	Flachgewinde .....	218
11.2.2	Spitz- und Trapezgewinde .....	219
<b>B12</b>	<b>Drehleistung</b> .....	<b>222</b>
12.1	Rotationsbewegung .....	222
12.2	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit .....	223
12.3	Berechnung der Drehleistung bei gleichförmiger Drehbewegung .....	224
12.3.1	Berechnung der Drehleistung aus Drehmoment und Drehzahl .....	225
<b>B13</b>	<b>Rotationskinematik</b> .....	<b>227</b>
13.1	Bewegungszustände der Rotation .....	227
13.1.1	Gleichförmige Drehbewegung .....	227
	• Winkelgeschwindigkeit .....	227
	• Die Umfangsgeschwindigkeit als Funktion der Winkelgeschwindigkeit .....	228
	• Die Drehleistung als Funktion der Winkelgeschwindigkeit .....	228
	• Der Drehwinkel bei gleichförmiger Rotation .....	228
13.1.2	Die gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte Drehbewegung .....	229
	• Die Winkelbeschleunigung .....	229
13.2	Analogien zwischen Translation und Rotation .....	230
<b>B14</b>	<b>Rotationsdynamik</b> .....	<b>234</b>
14.1	Die Fliehkraft .....	234
14.1.1	Berechnung der Fliehkraft .....	234
14.2	Coriolisbeschleunigung und Corioliskraft .....	237
<b>B15</b>	<b>Kinetische Energie rotierender Körper</b> .....	<b>240</b>
15.1	Rotationsenergie als kinetische Energie .....	240
15.2	Das Trägheitsmoment .....	241
15.2.1	Das Trägheitsmoment einer Punktmasse .....	241
15.2.2	Das Trägheitsmoment einfacher Drehkörper .....	242
15.2.3	Trägheitsmomente weiterer technisch wichtiger Drehkörper .....	243
15.2.4	Trägheitsmomente zusammengesetzter Körper .....	244
	• Verschiebungssatz von Steiner .....	245
15.2.5	Reduzierte Masse .....	246
15.2.6	Der Trägheitsradius .....	247
15.3	Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung .....	248
15.4	Dreharbeit in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehwinkel .....	249
15.5	Drehimpuls und Drehstoß .....	250
15.5.1	Die Drehimpulserhaltung (Drallerhaltung) .....	250
<b>B16</b>	<b>Übersetzungsverhältnis beim Riementrieb</b> .....	<b>253</b>
16.1	Einfacher Riementrieb .....	253
16.2	Doppelter Riementrieb und Mehrfachriementrieb .....	255
<b>B17</b>	<b>Übersetzungen beim Zahntrieb und in Getrieben</b> .....	<b>256</b>
17.1	Einfacher Zahntrieb .....	256
17.2	Doppelter Zahntrieb und Mehrfachzahntrieb .....	256
17.2.1	Die Bedeutung des Zwischenrades .....	257

17.3	Drehzahlen bei gestuften Schaltgetrieben .....	258
17.4	Drehzahlen bei stufenlosen Antrieben .....	259
17.5	Getriebewirkungsgrad in Abhängigkeit von Drehmoment und Übersetzungsverhältnis .....	259
<b>B18</b>	<b>Kurbeltrieb</b>	<b>261</b>
18.1	Die Schubkurbel .....	261
18.1.1	Der Kolbenweg .....	261
	• Näherungsgleichung zur Berechnung des Kolbenweges .....	262
18.1.2	Die Kolbengeschwindigkeit .....	262
18.1.3	Die Kolbenbeschleunigung .....	262
18.2	Die Kurbelschleife .....	262
<b>C</b>	<b>FESTIGKEITSLEHRE</b>	
<b>C1</b>	<b>Aufgabe der Festigkeitslehre</b>	<b>267</b>
1.1	Die drei Hauptaufgaben der Festigkeitslehre .....	267
1.1.1	Ermittlung der Bauteilabmessungen .....	267
1.1.2	Ermittlung der übertragbaren Kräfte und Momente .....	267
1.1.3	Werkstoffwahl .....	267
1.2	Der idealisierte Körper .....	268
1.3	Gültigkeitsbereich der elementaren Festigkeitslehre .....	268
<b>C2</b>	<b>Spannung und Beanspruchung</b>	<b>269</b>
2.1	Äußere Kraft und die Beanspruchung durch innere Kräfte .....	269
2.2	Das Schneiden des Bauteiles zur Ermittlung der inneren Kraft und des inneren Moments... ..	269
2.3	Begriff und Ermittlung der Spannung .....	270
2.3.1	Normalspannungen .....	270
2.3.2	Schubspannungen .....	271
2.4	Elementarbeanspruchungen an stabförmigen Körpern .....	271
2.5	Zusammengesetzte Beanspruchungen .....	272
<b>C3</b>	<b>Beanspruchung auf Zug oder Druck</b>	<b>273</b>
3.1	Die statische Beanspruchung .....	273
3.2	Beanspruchung auf Zug .....	273
3.2.1	Begriff der zulässigen Spannung .....	274
3.3	Beanspruchung auf Druck und gefährdeter Querschnitt .....	275
3.4	Beispiele für das Erkennen des gefährdeten Querschnitts .....	276
3.4.1	Ketten .....	276
3.4.2	Die Reißlänge .....	277
3.4.3	Auf Zug und Druck beanspruchte Schrauben .....	278
<b>C4</b>	<b>Flächenpressung und Lochleibung</b>	<b>281</b>
4.1	Flächenpressung an ebenen Flächen .....	281
4.2	Flächenpressung an geneigten ebenen Flächen .....	281
4.3	Flächenpressung bei Gewinden .....	283
4.4	Flächenpressung an gewölbten Flächen und Lochleibung .....	284
4.5	Einflussgrößen auf die zulässige Flächenpressung .....	286



<b>C5</b>	<b>Beanspruchung auf Abscherung</b>	<b>288</b>
<b>C6</b>	<b>Das Hooke'sches Gesetz für Zug und Druck</b>	<b>292</b>
6.1	Die Kraft als Ursache von Verformungen	292
6.2	Arten der Formänderung eines Körpers	292
6.2.1	Die elastische Verformung	293
6.2.2	Die plastische Verformung	293
6.3	Das Gesetz von Hooke	294
6.4	Die Messung von Kräften	295
6.4.1	Kraftmessung aufgrund der beschleunigenden Wirkung	295
6.4.2	Kraftmessung aufgrund der verformenden Wirkung	295
6.5	Hooke'sches Gesetz und Bauteildimensionierung	296
6.5.1	Dehnung und Verlängerung	296
6.5.2	Zusammenhang zwischen Dehnung und Spannung	297
<b>C7</b>	<b>Querkontraktion</b>	<b>301</b>
7.1	Definition der Querkontraktion	301
7.2	Zusammenhang zwischen Längsdehnung und Querdehnung	301
<b>C8</b>	<b>Belastungsgrenzen</b>	<b>303</b>
8.1	Spannungs, Dehnungs-Diagramm	303
8.2	Die Grenzspannungen im $\sigma, \epsilon$ -Diagramm	304
8.3	Die drei verschiedenen Belastungsfälle	304
8.3.1	Belastungsfall I	304
8.3.2	Belastungsfall II	305
8.3.3	Belastungsfall III	305
8.4	Einfacher Sicherheitsbegriff und zulässige Spannungen	306
8.4.1	Die zulässige Spannung bei statischer Beanspruchung	306
8.4.2	Das Festlegen der Sicherheitszahl $\nu$ und Angaben über zulässige Spannungen	306
8.4.3	Einige wichtige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Spannungen	307
<b>C9</b>	<b>Wärmespannung und Formänderungsarbeit</b>	<b>310</b>
9.1	Wärmespannung	310
9.1.1	Einfluss der Temperatur auf das Werkstoffverhalten	310
9.1.2	Wärmedehnung metallischer Werkstoffe	310
9.2	Formänderungsarbeit	312
<b>C10</b>	<b>Verformung bei Scherung und Flächenpressung</b>	<b>314</b>
10.1	Das Hooke'sche Gesetz für Scherbeanspruchung (Schub)	314
10.2	Die Hertz'schen Gleichungen	315
10.2.1	Pressung zwischen zwei Zylindern (Linienpressung)	315
10.2.2	Pressung zwischen zwei Kugeln (Punktpressung)	316
<b>C11</b>	<b>Auf Biegung beanspruchte Bauteile</b>	<b>319</b>
11.1	Beanspruchungen, die oftmals in Verbindung mit der Biegung auftreten	319
11.2	Der Träger	319
11.2.1	Lagerung der Träger	320
11.2.2	Trägerbezeichnungen	320
	• Trägerbezeichnungen, von der Trägerlagerung bestimmt	320
	• Trägerbezeichnungen, von der Bauart bestimmt	321
11.2.3	Trägerbelastungen und Belastungssymbole	321
11.2.4	Der statisch bestimmte oder statisch unbestimmte Träger	321

<b>C12</b>	<b>Die Biegespannung</b>	<b>323</b>
12.1	Abhängigkeit der Biegespannung vom Biegemoment .....	323
12.2	Abhängigkeit der Biegespannung von Form und Lage der Querschnittsfläche .....	324
12.3	Innere Kräfte und innere Momente bei Biegebeanspruchung .....	324
12.4	Vorzeichenregeln für Biegemomente und Querkräfte .....	325
12.4.1	Biegemomente .....	325
12.4.2	Querkräfte .....	325
12.5	Verteilung und Berechnung der Biegespannung .....	325
12.6	Zulässige Biegespannungen .....	327
12.7	Bedingungen für die Gültigkeit der Biegehauptgleichung .....	329
<b>C13</b>	<b>Rechnerische Ermittlung von Trägheits- und Widerstandsmomenten</b>	<b>332</b>
13.1	Äquatoriale Trägheitsmomente .....	332
13.2	Das polare Trägheitsmoment .....	332
13.3	Der Verschiebungssatz von Steiner .....	332
13.4	Trägheitsmomente und Widerstandsmomente einiger technisch wichtigen Querschnitte .....	336
13.4.1	Rechteckquerschnitt .....	336
13.4.2	Kreisquerschnitt .....	336
13.4.3	Dreieckquerschnitt .....	336
13.5	Trägheits- und Widerstandsmomente zusammengesetzter Flächen .....	336
<b>C14</b>	<b>Schiefe Biegung</b>	<b>343</b>
14.1	Hauptachsen im biegebeanspruchten Querschnitt .....	343
14.1.1	Ermittlung der Hauptachsen und der Hauptträgheitsmomente .....	344
	• Rechnerische Ermittlung .....	344
	• Zeichnerische Ermittlung der Hauptträgheitsmomente .....	346
14.2	Ermittlung der Biegespannung .....	347
14.2.1	Lastebene liegt in einer der Hauptachsen (einachsige Biegung) .....	347
14.2.2	Die Biegespannung bei zweiachsiger Biegung .....	348
	• Biegespannungen in symmetrischen Querschnitten .....	348
	• Biegespannungen in unsymmetrischen Querschnitten .....	349
<b>C15</b>	<b>Biegemomenten- und Querkraftverlauf beim Freitrag</b>	<b>352</b>
15.1	Freitrag mit Einzellasten .....	352
15.2	Freitrag mit gleichmäßig verteilter Streckenlast .....	356
15.3	Freitrag mit gemischter Belastung .....	358
<b>C16</b>	<b>Biegemomenten- und Querkraftverlauf beim Trager auf zwei Stützen</b>	<b>361</b>
16.1	Stütztrager mit Einzellasten .....	361
16.2	Trager auf zwei Stützen mit vielen gleich großen Einzellasten .....	362
16.3	Trager auf zwei Stützen mit gleichmäßig verteilter Streckenlast .....	363
16.4	Trager auf zwei Stützen mit Mischbelastung .....	365
<b>C17</b>	<b>Trager gleicher Biegespannung</b>	<b>368</b>
17.1	Der Gedanke der wirtschaftlichen Konstruktion .....	368
17.2	Berechnung von Trägern gleicher Biegefestigkeit .....	368
17.2.1	Freitrag mit einer Einzellast am Tragerende .....	368
	• Rechteckquerschnitt mit konstanter Höhe und veränderlicher Breite .....	369
	• Rechteckquerschnitt mit konstanter Breite und veränderlicher Höhe .....	369

<b>C18</b>	<b>Verformung bei Biegebeanspruchung</b>	<b>372</b>
18.1	Die Verformung im elastischen Bereich .....	372
18.2	Der Krümmungsradius der Biegelinie .....	372
18.3	Berechnung der Durchbiegung und des Neigungswinkels .....	373
18.3.1	Freiträger mit einer Einzellast am Trägerende .....	373
18.3.2	Träger auf zwei Stützen mit einer Einzellast in Trägermitte .....	373
18.3.3	Freiträger mit Streckenlast .....	374
18.4	Resultierende Durchbiegung .....	374
18.4.1	Resultierende Durchbiegung bei einachsiger Biegung .....	374
18.4.2	Resultierende Durchbiegung bei schiefer Biegung .....	375
<b>C19</b>	<b>Torsionseanspruchung 78</b>	
19.1	Drehmoment als Ursache der Torsion .....	378
19.2	Ermittlung des Torsionsmomentes .....	378
19.3	Berechnung der Torsionsspannung .....	379
19.3.1	Polares Widerstandsmoment für den Kreisquerschnitt .....	380
19.3.2	Polares Widerstandsmoment für den Kreisringquerschnitt .....	380
<b>C20</b>	<b>Verformung bei Torsion</b>	<b>384</b>
20.1	Analogie zwischen Zug und Torsion .....	384
20.2	Zusammenhang zwischen Elastizitätsmodul und Gleitmodul .....	384
20.3	Größe des Verdrehwinkels (Torsionswinkel) .....	385
<b>C21</b>	<b>Knickfestigkeit</b>	<b>388</b>
21.1	Unterscheidung von Druckbeanspruchung und Knickbeanspruchung .....	388
21.2	Schlankheitsgrad und Einspannungsfälle .....	388
<b>C22</b>	<b>Knickspannung</b>	<b>390</b>
22.1	Definition der Knickspannung .....	390
22.2	Ermittlung der Knickkraft bei elastischer Knickung .....	390
<b>C23</b>	<b>Unelastische Knickung (Tetmajerknickung)</b>	<b>392</b>
23.1	Grenzschlankheitsgrad .....	392
23.2	Knickspannung bei unelastischer Knickung .....	392
<b>C24</b>	<b>Knickstäbe im Stahlbau</b>	<b>396</b>
24.1	Normenwerk .....	396
24.2	Besonderheiten bei der Verwendung von Formelzeichen und Nebenzeichen .....	396
24.3	Arten der Knickung gemäß DIN 18 800 .....	396
24.4	Tragsicherheitsnachweis mit dem Kappa-Verfahren ( $\kappa$ -Verfahren) .....	397
<b>C25</b>	<b>Beanspruchung auf Biegung und Zug oder Druck</b>	<b>398</b>
<b>C26</b>	<b>Beanspruchung auf Zug und Schub, Druck und Schub, Biegung und Schub</b>	<b>402</b>
<b>C27</b>	<b>Beanspruchung auf Biegung und Torsion</b>	<b>404</b>
<b>C28</b>	<b>Dauerfestigkeit, Schwellfestigkeit, Wechselfestigkeit</b>	<b>407</b>
28.1	Dauerstandfestigkeit .....	407
28.2	Schwellfestigkeit .....	407
28.3	Wechselfestigkeit .....	407

<b>C29</b>	<b>Ermittlung der Dauerfestigkeit</b>	<b>409</b>
29.1	Gewalt- und Dauerbruch .....	409
29.2	Ermittlung von Schwell- und Wechselfestigkeit .....	409
29.3	Konstruktion des Dauerfestigkeitsschaubildes .....	411
29.4	Zulässige Spannungen, erweiterter Sicherheitsbegriff .....	413
<b>C30</b>	<b>Gestaltfestigkeit</b>	<b>414</b>
30.1	Dauerfestigkeit und Bauteilgröße .....	414
30.2	Dauerfestigkeit und Bauteiloberfläche .....	414
30.3	Dauerfestigkeit und Bauteilform .....	414
30.3.1	Kerbwirkung .....	414
30.3.2	Berechnung der Kerbwirkung .....	415
30.4	Gestaltfestigkeit in Abhängigkeit von Bauteilgröße, Bauteilform und Bauteiloberfläche .....	416
<b>C31</b>	<b>Experimentelle Spannungsanalyse</b>	<b>419</b>
31.1	Messung von Spannungen am fertigen Bauteil .....	419
31.2	Spannungsanalyse mittels Dehnungsmessstreifen .....	419
31.3	Spannungsanalyse mittels Spannungsoptik .....	420
31.4	Spannungsanalyse mittels Finite-Elemente-Methode .....	421
	<b>Lösungsgänge und Lösungen zu den Übungsaufgaben</b>	<b>453</b>
	<b>Ergebnisse der Vertiefungsaufgaben</b>	<b>491</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>511</b>
	<b>Griechisches Alphabet</b>	<b>520</b>
	<b>Römische Ziffern</b>	<b>520</b>