

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufgaben der Festigkeitslehre	1
1.2	Beanspruchungsarten - Grundbeanspruchungen	3
1.2.1	Zugbeanspruchung	3
1.2.2	Druckbeanspruchung	4
1.2.3	Schub- oder Scherbeanspruchung	4
1.2.4	Biegebeanspruchung	5
1.2.5	Torsionsbeanspruchung	5
1.2.6	Knickbeanspruchung	6
1.2.7	Zusammengesetzte Beanspruchung	6
1.3	Schnittmethode - Spannungen - Krafteinleitung	7
1.4	Formänderungen - Zusammenhang mit den Spannungen	11
2	Zug- und Druckbeanspruchung	13
2.1	Zug- und Druckspannungen	13
2.2	Zugversuch	16
2.2.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - Hooke'sches Gesetz	17
2.2.2	Elastisches Verhalten - Formänderungsarbeit	20
2.2.3	Werkstoffkennwerte	23
2.3	Druckversuch	27
2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - Hooke'sches Gesetz	27
2.3.2	Werkstoffkennwerte	28
2.4	Berechnung von Bauteilen unter Zug- und Druckbelastung	29
2.4.1	Einfache Belastungsfälle	29
2.4.2	Flächenpressung	36
2.4.3	Spannungen in dünnwandigen zylindrischen Ringen	38
2.4.3.1	Zugspannungen durch Fliehkräfte	38
2.4.3.2	Zug- und Druckspannungen in zylindrischen Hohlkörpern	40
2.4.4	Wärmespannungen - Schrumpfspannungen	42

2.4.5	Längs der Stabachse veränderliche Spannungen	45
2.4.5.1	Spannungen durch Eigengewicht	47
2.4.5.2	Körper konstanter Zug- und Druckbeanspruchung	49
2.4.5.3	Beanspruchung durch Fliehkräfte	50
2.5	Aufgaben zu Kapitel 2	51
2.6	Formelzusammenfassung Kapitel 2	55
3	Zulässige Beanspruchung und Sicherheit - Beurteilung des Versagens	57
3.1	Ruhende oder statische Beanspruchung	58
3.2	Schwingende oder dynamische Beanspruchung	58
3.2.1	Grenzspannung bei dynamischer Beanspruchung	59
3.2.1.1	Ermittlung der Dauerfestigkeit im Versuch	59
3.2.2	Einflüsse, die durch die elementare Berechnung nicht erfasst sind	63
3.2.2.1	Kerbwirkung	63
3.2.2.2	Versagen bei ruhender Beanspruchung unter Kerbwirkung	65
3.2.2.3	Versagen bei schwingender Beanspruchung unter Kerbwirkung	66
3.3	Anwendung auf Zug-Druck-Beanspruchung	68
3.4	Aufgaben zu Kapitel 3	76
3.5	Formelzusammenfassung Kapitel 3	77
4	Biegebeanspruchung gerader Balken	79
4.1	Flächenmomente	79
4.1.1	Begriffsbestimmung	80
4.1.1.1	Flächenmomente 1. Ordnung	81
4.1.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung	82
4.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung für einfache Flächen	82
4.1.2.1	Rechteck	83
4.1.2.2	Kreisring und Vollkreis	84
4.1.2.3	Dreieck	85
4.1.3	Abhängigkeit der Flächenmomente 2. Ordnung von der Lage des Koordinatensystems	87
4.1.3.1	Parallelverschiebung des Koordinatensystems - Satz von Steiner	87
4.1.3.2	Flächenmomente 2. Ordnung zusammengesetzter Flächen	88
4.1.3.3	Drehung des Koordinatensystems um den Schwerpunkt	95
4.2	Gerade Biegung	99
4.2.1	Reine Biegung	100
4.2.2	Biegung bei veränderlichem Biegemoment	109
4.2.3	Träger und Wellen konstanter Biegebeanspruchung	114

4.3	Schiefe oder allgemeine Biegung	119
4.3.1	Biegespannungen und Nulllinie	120
4.3.1.1	Biegespannungen	120
4.3.1.2	Nulllinie	122
4.4	Zulässige Spannung und Sicherheit bei Biegung	125
4.4.1	Grenzspannung	125
4.4.2	Kerbwirkung	126
4.4.3	Versagen bei ruhender und schwingender Beanspruchung ..	127
4.4.4	Anwendung auf Biegebeanspruchung	128
4.5	Aufgaben zu Kapitel 4	132
4.5.1	Aufgaben zu Abschnitt 4.1	132
4.5.2	Aufgaben zu Abschnitt 4.2	134
4.5.3	Aufgaben zu Abschnitt 4.3	137
4.5.4	Aufgaben zu Abschnitt 4.4	138
4.6	Formelzusammenfassung Kapitel 4	140
5	Durchbiegung gerader Balken - Biegelinie	141
5.1	Krümmung der Biegelinie	141
5.2	Durchbiegung - Differentialgleichungen der Biegelinie	142
5.2.1	Differentialgleichung 2. Ordnung	143
5.2.2	Differentialgleichung 4. Ordnung	155
5.3	Formänderungsarbeit bei der Biegung - Biegefeder	161
5.4	Vergleichende Beurteilung von Biegespannung und Durchbiegung ..	165
5.5	Durchbiegung bei schiefer Biegung	168
5.6	Aufgaben zu Kapitel 5	170
5.7	Formelzusammenfassung Kapitel 5	171
6	Statisch unbestimmte Systeme	173
6.1	Allgemeines	173
6.2	Starre Lagerung	174
6.3	Satz von CASTIGLIANO	179
6.3.1	Energetische Betrachtungen zu verformbaren Systemen ..	179
6.3.2	Rechenschema zur Anwendung des 2. Satzes von Castiglano	181
6.4	Elastische Lagerung	185
6.5	Einfluss der statisch unbestimmten Lagerung bei Wellen und Trägern	188
6.6	Geschlossene Rahmen	191
6.7	Aufgaben zu Kapitel 6	194
6.8	Formelzusammenfassung Kapitel 6	196
7	Torsion prismatischer Stäbe	197
7.1	Torsion gerader Stäbe	197
7.1.1	Schubspannung und Schubverformung - Hooke'sches Gesetz - Formänderungsarbeit	199

7.1.2	Torsionsstäbe mit Vollkreisquerschnitt	201
7.1.2.1	Schubspannungen	202
7.1.2.2	Torsionswinkel	203
7.1.3	Torsionsstäbe mit Kreisringquerschnitt	204
7.1.4	Torsionsstäbe mit beliebiger Querschnittsform	209
7.1.4.1	Dünnwandige Hohlquerschnitte	210
7.1.4.2	Rechteck	214
7.1.4.3	Dünnwandige offene Profilquerschnitte	214
7.1.5	Kerbwirkung, Grenzspannungen und zulässige Spannung bei Torsion	217
7.1.6	Formänderungsarbeit bei Torsion - Drehstabfedern	219
7.1.7	Vergleichende Beurteilung von Schubspannung und Torsionswinkel	222
7.2	Torsionsbeanspruchung gekrümmter Stäbe	224
7.2.1	Zylindrische Schraubenfedern	224
7.3	Aufgaben zu Kapitel 7	231
7.3.1	Aufgaben zu Abschnitt 7.1	231
7.3.2	Aufgaben zu Abschnitt 7.2	233
7.4	Formelzusammenfassung Kapitel 7	234
8	Schubbeanspruchung durch Querkräfte	235
8.1	Einfache Scherung	235
8.2	Schubspannungen durch Querkräfte bei Biegung	238
8.3	Abschätzung der Größenordnung der Schubspannung	243
8.4	Schubspannungen in Profilträgern - Schubmittelpunkt	245
8.5	Berechnung von genieteten und geschweißten Trägern	250
8.6	Schubverformung	252
8.7	Aufgaben zu Kapitel 8	254
8.8	Formelzusammenfassung Kapitel 8	256
9	Zusammengesetzte Beanspruchung	257
9.1	Einteilung und Beispiele	257
9.1.1	Zusammengesetzte Zug- oder Druck- und Biegebeanspruchung	258
9.1.2	Biegung stark gekrümmter Träger	267
9.1.3	Zusammengesetzte Schub- und Torsionsbeanspruchung	274
9.2	Spannungszustand - Geometrie der Spannungen	275
9.2.1	Geschlossene dünnwandige zylindrische und kugelförmige Behälter unter innerem und äußerem Überdruck	277
9.2.2	Ebener - zweiachsiger - Spannungszustand	279
9.2.2.1	Abhängigkeit der Spannung von der Schnittrichtung - Hauptspannungen	281
9.2.2.2	Mohr'scher Spannungskreis	284
9.2.2.3	Beziehungen zwischen den Spannungen am Flächenelement	285

9.2.3 Räumlicher - dreiachsiger - Spannungszustand	287
9.3 Formänderungen des ebenen Spannungszustands	294
9.3.1 Allgemeines Hooke'sches Gesetz für den ebenen Spannungszustand	294
9.3.2 Beziehungen zwischen den isotropen Werkstoffkennwerten .	297
9.3.3 Volumenänderung	298
9.3.4 Abschätzung der Größenordnung der Querkontraktionszahl .	299
9.3.5 Dehnungsmessungen - Berechnung der Spannungen	300
9.4 Festigkeitshypothesen - Versagen bei mehrachsiger Beanspruchung	302
9.4.1 Vergleichsspannung	304
9.4.1.1 Hypothese der größten Hauptspannung	305
9.4.1.2 Hypothese der größten Schubspannung	305
9.4.1.3 Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie .	305
9.4.2 Berechnungsgleichungen - Korrekturzahl nach von Bach .	306
9.5 Aufgaben zu Kapitel 9	310
9.5.1 Aufgaben zu Abschnitt 9.1	310
9.5.2 Aufgaben zu Abschnitt 9.2	313
9.5.3 Aufgaben zu Abschnitt 9.3	313
9.5.4 Aufgaben zu Abschnitt 9.4	314
9.6 Formelzusammenfassung Kapitel 9	317
10 Knicken und Beulen	319
10.1 Euler'sche Knickkraft	319
10.1.1 Außermittiger Kraftangriff	319
10.1.2 Mittiger Kraftangriff	322
10.1.3 Knicksicherheit	324
10.1.4 Andere Randbedingungen	325
10.1.5 Knicken bei behinderter Wärmedehnung	329
10.2 Knickspannungsdiagramm	331
10.3 Beulung dünnwandiger Hohlkörper	334
10.3.1 Kreiszylinder unter Axialdruck	334
10.3.2 Konstanter Außendruck	336
10.4 Aufgaben zu Kapitel 10	337
10.5 Formelzusammenfassung Kapitel 10	339
11 Rotationssymmetrischer Spannungszustand in Scheiben	341
11.1 Herleitung der Grundgleichungen	341
11.1.1 Gleichgewichtsbedingungen	342
11.1.2 Verträglichkeitsbedingung	343
11.2 Dickwandige zylindrische Behälter unter Innen- und Außendruck .	344
11.2.1 Spannungsverteilung - Vergleichsspannung	345
11.2.1.1 Innendruck	345
11.2.1.2 Außendruck	346
11.2.2 Fließbeginn - vollplastischer Grenzzustand	351

11.2.3 Näherungsrechnung im teilplastischen Bereich - Berechnungsvorschriften	353
11.2.4 Mehrlagenbehälter - Schrumpfverbindungen	357
11.3 Aufgaben zu Kapitel 11	361
A Lösungen zu den Aufgaben	363
A.1 Kapitel 2	363
A.2 Kapitel 3	365
A.3 Kapitel 4	365
A.3.1 Abschnitt 4.1	365
A.3.2 Abschnitt 4.2	367
A.3.3 Abschnitt 4.3	370
A.3.4 Abschnitt 4.4	371
A.4 Kapitel 5	371
A.5 Kapitel 6	372
A.6 Kapitel 7	373
A.6.1 Abschnitt 7.1	373
A.6.2 Abschnitt 7.2	374
A.7 Kapitel 8	375
A.8 Kapitel 9	375
A.8.1 Abschnitt 9.1	375
A.8.2 Abschnitt 9.2	376
A.8.3 Abschnitt 9.3	377
A.8.4 Abschnitt 9.4	378
A.9 Kapitel 10	378
A.10 Kapitel 11	379
Literaturverzeichnis	381
Sachverzeichnis	383