

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufgaben der Festigkeitslehre	1
1.2	Beanspruchungsarten - Grundbeanspruchungen	2
1.3	Schnittmethode - Spannungen - Krafteinleitung	4
1.4	Formänderungen - Zusammenhang mit den Spannungen	8
2	Zug- und Druckbeanspruchung	9
2.1	Zug- und Druckspannungen	9
2.2	Zugversuch	11
2.2.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - HOOKEsches Gesetz	11
2.2.2	Elastisches Verhalten - Formänderungsarbeit	14
2.2.3	Werkstoffkennwerte	16
2.3	Druckversuch	20
2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - HOOKEsches Gesetz	20
2.3.2	Werkstoffkennwerte	21
2.4	Berechnung von Bauteilen unter Zug- und Druckbelastung	22
2.4.1	Einfache Belastungsfälle	22
2.4.2	Flächenpressung	28
2.4.3	Spannungen in dünnwandigen zylindrischen Ringen	30
2.4.3.1	Zugspannungen durch Fliehkräfte	30
2.4.3.2	Zug- und Druckspannungen in zylindrischen Hohlkörpern	32
2.4.4	Wärmespannungen - Schrumpfspannungen	34
2.4.5	Längs der Stabachse veränderliche Spannungen	37
2.4.5.1	Spannungen durch Eigengewicht	39
2.4.5.2	Körper konstanter Zug- und Druckbeanspruchung	40
2.4.5.3	Beanspruchung durch Fliehkräfte	42
2.5	Aufgaben zu Kapitel 2	42

3	Zulässige Beanspruchung und Sicherheit - Beurteilung des Versagens	47
3.1	Ruhende oder statische Beanspruchung	47
3.2	Schwingende oder dynamische Beanspruchung	48
3.2.1	Grenzspannung bei dynamischer Beanspruchung	49
3.2.2	Durch die elementare Berechnung nicht erfasste Einflüsse	52
3.3	Anwendung auf Zug-Druck-Beanspruchung	58
3.4	Aufgaben zu Kapitel 3	65
4	Biegebeanspruchung gerader Balken	67
4.1	Flächenmomente	67
4.1.1	Begriffsbestimmung	67
4.1.1.1	Flächenmomente 1. Ordnung	68
4.1.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung	69
4.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung für einfache Flächen	70
4.1.3	Abhängigkeit der Flächenmomente 2. Ordnung von der Lage des Koordinatensystems	74
4.1.3.1	Parallelverschiebung des Koordinatensystems – Satz von STEINER	74
4.1.3.2	Flächenmomente 2. Ordnung zusammengesetzter Flächen	75
4.1.3.3	Drehung des Koordinatensystems um den Schwerpunkt	81
4.1.4	Aufgaben zu Abschnitt 4.1	85
4.2	Gerade Biegung	87
4.2.1	Reine Biegung	88
4.2.2	Biegung bei veränderlichem Biegemoment	97
4.2.3	Träger und Wellen konstanter Biegebeanspruchung	102
4.2.4	Aufgaben zu Abschnitt 4.2	107
4.3	Schiefe oder allgemeine Biegung	110
4.3.1	Biegespannungen und Nulllinie	111
4.3.2	Aufgaben zu Abschnitt 4.3	116
4.4	Zulässige Spannung und Sicherheit bei Biegung	117
4.4.1	Grenzspannung	117
4.4.2	Kerbwirkung	119
4.4.3	Versagen bei ruhender und schwingender Beanspruchung	119
4.4.4	Anwendung auf Biegebeanspruchung	120
4.4.5	Aufgaben zu Abschnitt 4.4	123

5	Durchbiegung gerader Balken - Biegelinie	125
5.1	Krümmung der Biegelinie	125
5.2	Durchbiegung - Differentialgleichungen der Biegelinie	126
5.2.1	Differentialgleichung 2. Ordnung	128
5.2.2	Differentialgleichung 4. Ordnung	138
5.3	Formänderungsarbeit bei der Biegung - Biegefedern	144
5.4	Vergleichende Beurteilung von Biegespannung und Durchbiegung	148
5.5	Durchbiegung bei schiefer Biegung	150
5.6	Aufgaben zu Kapitel 5	153
6	Statisch unbestimmte Systeme	155
6.1	Allgemeines	155
6.2	Starre Lagerung	155
6.3	Satz von CASTIGLIANO	161
6.3.1	Energetische Betrachtungen zu verformbaren Systemen	161
6.3.2	Rechenschema zur Anwendung des Satzes von CASTIGLIANO	163
6.4	Elastische Lagerung	167
6.5	Einfluss der statisch unbestimmten Lagerung bei Wellen und Trägern	169
6.6	Geschlossene Rahmen	172
6.7	Aufgaben zu Kapitel 6	175
7	Torsion (Verdrehbeanspruchung) prismatischer Stäbe	177
7.1	Torsion gerader Stäbe	177
7.1.1	Schubspannung und Schubverformung - HOOKEsches Gesetz - Formänderungsarbeit	178
7.1.2	Torsionsstäbe mit Vollkreisquerschnitt	180
7.1.3	Torsionsstäbe mit Kreisringquerschnitt	183
7.1.4	Torsionsstäbe mit beliebiger Querschnittform	188
7.1.5	Kerbwirkung, Grenzspannungen und zulässige Spannung bei Torsion	195
7.1.6	Formänderungsarbeit bei Torsion - Drehstabfedern	197
7.1.7	Vergleichende Beurteilung von Schubspannung und Torsionswinkel	201
7.1.8	Aufgaben zu Abschnitt 7.1	202
7.2	Torsionsbeanspruchung gekrümmter Stäbe	204
7.2.1	Zylindrische Schraubenfedern	204
7.2.2	Aufgaben zu Abschnitt 7.2	211

8 Schubbeanspruchung durch Querkräfte	213
8.1 Einfache Scherung	213
8.2 Schubspannungen durch Querkräfte bei Biegung	216
8.3 Abschätzung der Größenordnung der Schubspannung	220
8.4 Schubspannungen in Profilträgern - Schubmittelpunkt	222
8.5 Berechnung von genieteten und geschweißten Trägern	226
8.6 Schubverformung	228
8.7 Aufgaben zu Kapitel 8	231
9 Zusammengesetzte Beanspruchung	233
9.1 Einteilung und Beispiele	233
9.1.1 Zusammengesetzte Zug- oder Druck- und Biegebeanspruchung	234
9.1.2 Biegung stark gekrümmter Träger	244
9.1.3 Zusammengesetzte Schub- und Torsionsbeanspruchung	250
9.1.4 Aufgaben zu Abschnitt 9.1	252
9.2 Spannungszustand - Geometrie der Spannungen	254
9.2.1 Geschlossene dünnwandige zylindrische und kugelförmige Behälter unter innerem und äußerem Überdruck	256
9.2.2 Ebener - zweiachsiger - Spannungszustand	258
9.2.2.1 Abhängigkeit der Spannung von der Schnittrichtung - Hauptspannungen	259
9.2.2.2 Beziehungen zwischen den Spannungen am Flächenelement	262
9.2.3 Räumlicher - dreiachsiger - Spannungszustand	264
9.2.4 Aufgaben zu Abschnitt 9.2	271
9.3 Formänderungen des ebenen Spannungszustands	271
9.3.1 Allgemeines HOOKEsches Gesetz für den ebenen Spannungszustand	272
9.3.2 Beziehungen zwischen den Werkstoffkennwerten E , G und ν	275
9.3.3 Volumenänderung	276
9.3.4 Abschätzung der Größenordnung der Querkontraktionszahl ν	277
9.3.5 Dehnungsmessungen - Berechnung der Spannungen	277
9.3.6 Aufgaben zu Abschnitt 9.3	280
9.4 Festigkeitshypothesen - Versagen bei mehrachsiger Beanspruchung	281
9.4.1 Vergleichsspannung σ_v	283
9.4.2 Berechnungsgleichungen - Korrekturzahl nach C. BACH	284
9.4.3 Aufgaben zu Abschnitt 9.4	288

10 Knicken und Beulen	291
10.1 EULERSche Knickkraft	291
10.1.1 Außermittiger Kraftangriff	291
10.1.2 Mittiger Kraftangriff	294
10.1.3 Andere Randbedingungen	296
10.1.4 Knicken bei behinderter Wärmedehnung	300
10.2 Knickspannungsdiagramm	302
10.3 Beulung dünnwandiger Hohlkörper	306
10.3.1 Kreiszyylinder unter Axialdruck	306
10.3.2 Konstanter Außendruck	307
10.4 Aufgaben zu Kapitel 10	309
11 Rotationssymmetrischer Spannungszustand in Scheiben	311
11.1 Herleitung der Grundgleichungen	311
11.1.1 Gleichgewichtsbedingungen	312
11.1.2 Verträglichkeitsbedingung	313
11.2 Dickwandige zylindrische Behälter unter Innen- und Außendruck	314
11.2.1 Spannungsverteilung - Vergleichsspannung	315
11.2.2 Fließbeginn - vollplastischer Grenzzustand	321
11.2.3 Näherungsrechnung im teilplastischen Bereich - Berechnungsvorschriften . . .	325
11.2.4 Mehrlagenbehälter - Schrumpfverbindungen	328
11.3 Aufgaben zu Kapitel 11	333
12 Einführung in die Methode der Finiten Elemente	335
12.1 Grundbegriffe	336
12.2 Einfache Elemente in der Festigkeitslehre	337
12.2.1 Prismatisches Stabelement	337
12.2.1.1 Zug-Druckstab	337
12.2.1.2 Torsionsstab	338
12.2.2 Prismatischer Biegebalken	339
12.2.3 Allgemeiner Stab	345
12.3 Strukturaufbau	345
12.4 FEM-Prozedur	347

Anhang	355
A Lösungen zu den Aufgaben	357
A.1 Kapitel 2	357
A.2 Kapitel 3	359
A.3 Kapitel 4	360
A.3.1 Abschnitt 4.1	360
A.3.2 Abschnitt 4.2	361
A.3.3 Abschnitt 4.3	364
A.3.4 Abschnitt 4.4	365
A.4 Kapitel 5	366
A.5 Kapitel 6	367
A.6 Kapitel 7	367
A.6.1 Abschnitt 7.1	367
A.6.2 Abschnitt 7.2	369
A.7 Kapitel 8	369
A.8 Kapitel 9	370
A.8.1 Abschnitt 9.1	370
A.8.2 Abschnitt 9.2	370
A.8.3 Abschnitt 9.3	371
A.8.4 Abschnitt 9.4	372
A.9 Kapitel 10	373
A.10 Kapitel 11	374
Weiterführende Literatur	375
Stichwortverzeichnis	377