

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufgaben der Festigkeitslehre	1
1.2	Beanspruchungsarten - Grundbeanspruchungen	3
1.2.1	Zugbeanspruchung	4
1.2.2	Druckbeanspruchung	4
1.2.3	Schub- oder Scherbeanspruchung	4
1.2.4	Biegebeanspruchung	5
1.2.5	Torsionsbeanspruchung	6
1.2.6	Knickbeanspruchung	6
1.2.7	Zusammengesetzte Beanspruchung	7
1.3	Schnittmethode - Spannungen - Krafteinleitung	7
1.4	Formänderungen - Zusammenhang mit den Spannungen	12
2	Zug- und Druckbeanspruchung	13
2.1	Zug- und Druckspannungen	13
2.2	Zugversuch	15
2.2.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - Hooke'sches Gesetz	16
2.2.2	Elastisches Verhalten - Formänderungsarbeit	19
2.2.3	Werkstoffkennwerte	22
2.3	Druckversuch	26
2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm - Hooke'sches Gesetz	26
2.3.2	Werkstoffkennwerte	27
2.4	Berechnung von Bauteilen unter Zug- und Druckbelastung	28
2.4.1	Einfache Belastungsfälle	28
2.4.2	Flächenpressung	36
2.4.3	Spannungen in dünnwandigen zylindrischen Ringen	39
2.4.3.1	Zugspannungen durch Fliehkräfte	39
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, 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-Bearbeitung	69
3.4	Aufgaben zu Kapitel 3	75
3.5	Formelzusammenfassung Kapitel 3	77
4	Biegebeanspruchung gerader Balken	81
4.1	Flächenmomente	81
4.1.1	Begriffsbestimmung	82
4.1.1.1	Flächenmomente 1. Ordnung	83
4.1.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung	84
4.1.2	Flächenmomente 2. Ordnung für einfache Flächen	84
4.1.2.1	Rechteck	85
4.1.2.2	Kreisring und Vollkreis	86
4.1.2.3	Dreieck	87
4.1.3	Abhängigkeit der Flächenmomente 2. Ordnung von der Lage des Koordinatensystems	89
4.1.3.1	Parallelverschiebung des Koordinatensystems - Satz von STEINER	89
4.1.3.2	Flächenmomente 2. Ordnung zusammengesetzter Flächen	90
4.1.3.3	Drehung des Koordinatensystems um den Schwerpunkt	97
4.2	Gerade Biegung	101
4.2.1	Reine Biegung	102
4.2.2	Biegung bei veränderlichem Biegemoment	111
4.2.3	Träger und Wellen konstanter Biegebeanspruchung	116

4.3	Schiefe oder allgemeine Biegung	121
4.3.1	Biegespannungen und Nulllinie	122
4.3.1.1	Biegespannungen	122
4.3.1.2	Nulllinie	124
4.4	Zulässige Spannung und Sicherheit bei Biegung	127
4.4.1	Grenzspannung	127
4.4.2	Kerbwirkung	129
4.4.3	Versagen bei ruhender und schwingender Beanspruchung ..	129
4.4.4	Anwendung auf Biegebeanspruchung	130
4.5	Aufgaben zu Kapitel 4	134
4.5.1	Aufgaben zu Abschnitt 4.1	134
4.5.2	Aufgaben zu Abschnitt 4.2	136
4.5.3	Aufgaben zu Abschnitt 4.3	139
4.5.4	Aufgaben zu Abschnitt 4.4	140
4.6	Formelzusammenfassung Kapitel 4	142
5	Durchbiegung gerader Balken - Biegelinie	143
5.1	Krümmung der Biegelinie	143
5.2	Durchbiegung - Differentialgleichungen der Biegelinie	144
5.2.1	Differentialgleichung 2. Ordnung	145
5.2.2	Differentialgleichung 4. Ordnung	164
5.3	Formänderungsarbeit bei der Biegung - Biegefedorne	170
5.4	Vergleichende Beurteilung von Biegespannung und Durchbiegung ..	174
5.5	Durchbiegung bei schiefer Biegung	177
5.6	Aufgaben zu Kapitel 5	179
5.7	Formelzusammenfassung Kapitel 5	180
6	Statisch unbestimmte Systeme	183
6.1	Allgemeines	183
6.2	Starre Lagerung	184
6.3	Satz von CASTIGLIANO	191
6.3.1	Energetische Betrachtungen zu verformbaren Systemen ..	191
6.3.2	Anwendung des 2. Satzes von CASTIGLIANO	192
6.4	Elastische Lagerung	197
6.5	Einfluss der statisch unbestimmten Lagerung bei Wellen und Trägern	199
6.6	Geschlossene Rahmen	203
6.7	Aufgaben zu Kapitel 6	206
6.8	Formelzusammenfassung Kapitel 6	208
7	Torsion prismatischer Stäbe	209
7.1	Torsion gerader Stäbe	209
7.1.1	Schubspannung und Schubverformung - HOOKE'sches Gesetz - Formänderungsarbeit	211

7.1.2	Torsionsstäbe mit Vollkreisquerschnitt	213
7.1.2.1	Schubspannungen.....	214
7.1.2.2	Torsionswinkel	215
7.1.3	Torsionsstäbe mit Kreisringquerschnitt	216
7.1.4	Torsionsstäbe mit beliebiger Querschnittform.....	221
7.1.4.1	Dünnwandige Hohlquerschnitte	222
7.1.4.2	Rechteck	225
7.1.4.3	Dünnwandige offene Profilquerschnitte	226
7.1.5	Kerbwirkung, Grenzspannungen und zulässige Spannung bei Torsion	229
7.1.6	Formänderungsarbeit bei Torsion - Drehstabfedern	231
7.1.7	Vergleichende Beurteilung von Schubspannung und Torsionswinkel	234
7.2	Torsionsbeanspruchung gekrümmter Stäbe - Zylindrische Schraubenfedern	236
7.3	Aufgaben zu Kapitel 7	243
7.3.1	Aufgaben zu Abschnitt 7.1	243
7.3.2	Aufgaben zu Abschnitt 7.2	244
7.4	Formelzusammenfassung Kapitel 7.....	245
8	Schubbeanspruchung durch Querkräfte	247
8.1	Einfache Scherung	247
8.2	Schubspannungen durch Querkräfte bei Biegung	251
8.3	Abschätzung der Größenordnung der Schubspannung	255
8.4	Schubspannungen in Profilträgern - Schubmittelpunkt	257
8.5	Berechnung von genieteten und geschweißten Trägern	262
8.6	Schubverformung	264
8.7	Aufgaben zu Kapitel 8	266
8.8	Formelzusammenfassung Kapitel 8.....	267
9	Zusammengesetzte Beanspruchung	269
9.1	Einteilung und Beispiele.....	269
9.1.1	Zusammengesetzte Zug- oder Druck- und Biegebeanspruchung	270
9.1.2	Biegung stark gekrümmter Träger	279
9.1.3	Zusammengesetzte Schub- und Torsionsbeanspruchung	286
9.2	Spannungszustand - Geometrie der Spannungen	287
9.2.1	Geschlossene dünnwandige zylindrische und kugelförmige Behälter unter innerem und äußerem Überdruck	290
9.2.2	Ebener - zweiachsiger - Spannungszustand	292
9.2.2.1	Abhängigkeit der Spannung von der Schnittrichtung - Hauptspannungen	293
9.2.2.2	Mohr'scher Spannungskreis	296
9.2.2.3	Beziehungen zwischen den Spannungen am Flächenelement	297

9.2.3	Räumlicher - dreiachsiger - Spannungszustand	299
9.3	Formänderungen des ebenen Spannungszustands	306
9.3.1	Allgemeines Hooke'sches Gesetz für den ebenen Spannungszustand	306
9.3.2	Beziehungen zwischen den isotropen Werkstoffkennwerten	309
9.3.3	Volumenänderung	310
9.3.4	Abschätzung der Größenordnung der Querkontraktionszahl	311
9.3.5	Dehnungsmessungen - Berechnung der Spannungen	312
9.4	Festigkeitshypothesen - Versagen bei mehrachsiger Beanspruchung	315
9.4.1	Vergleichsspannung	317
9.4.1.1	Hypothese der größten Hauptspannung	317
9.4.1.2	Hypothese der größten Schubspannung	317
9.4.1.3	Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie	317
9.4.2	Berechnungsgleichungen - Korrekturzahl nach VON BACH	318
9.5	Aufgaben zu Kapitel 9	322
9.5.1	Aufgaben zu Abschnitt 9.1	322
9.5.2	Aufgaben zu Abschnitt 9.2	325
9.5.3	Aufgaben zu Abschnitt 9.3	326
9.5.4	Aufgaben zu Abschnitt 9.4	327
9.6	Formelzusammenfassung Kapitel 9	329
10	Stabilitätsprobleme	331
10.1	Arten des Gleichgewichts	331
10.2	EULER'sche Knickkraft	339
10.2.1	EULER'sche Knickkraft - Differentialgleichung 2. Ordnung	340
10.2.2	EULER'sche Knickkraft - Differentialgleichung 4. Ordnung	341
10.2.3	Außermittiger und mittiger Kraftangriff	352
10.2.4	Knicksicherheit	356
10.2.5	Knicken bei behinderter Wärmedehnung	360
10.3	Knickspannungsdiagramm	362
10.4	Beulung dünnwandiger Hohlkörper	365
10.4.1	Kreiszylinder unter Axialdruck	365
10.4.2	Konstanter Außendruck	366
10.5	Aufgaben zu Kapitel 10	368
10.6	Formelzusammenfassung Kapitel 10	370
11	Rotationssymmetrischer Spannungszustand in Scheiben	371
11.1	Herleitung der Grundgleichungen	371
11.1.1	Gleichgewichtsbedingungen	372
11.1.2	Verträglichkeitsbedingung	373
11.2	Dickwandige zylindrische Behälter unter Innen- und Außendruck	374
11.2.1	Spannungsverteilung - Vergleichsspannung	375
11.2.1.1	Innendruck	375
11.2.1.2	Außendruck	376

11.2.2 Fließbeginn - vollplastischer Grenzzustand	381
11.2.3 Näherungsrechnung im teilplastischen Bereich - Berechnungsvorschriften	383
11.2.4 Mehrlagenbehälter - Schrumpfverbindungen	387
11.3 Aufgaben zu Kapitel 11	391
A Lösungen zu den Aufgaben	393
A.1 Kapitel 2	393
A.2 Kapitel 3	395
A.3 Kapitel 4	396
A.3.1 Abschnitt 4.1	396
A.3.2 Abschnitt 4.2	396
A.3.3 Abschnitt 4.3	400
A.3.4 Abschnitt 4.4	401
A.4 Kapitel 5	401
A.5 Kapitel 6	402
A.6 Kapitel 7	403
A.6.1 Abschnitt 7.1	403
A.6.2 Abschnitt 7.2	404
A.7 Kapitel 8	405
A.8 Kapitel 9	405
A.8.1 Abschnitt 9.1	405
A.8.2 Abschnitt 9.2	406
A.8.3 Abschnitt 9.3	407
A.8.4 Abschnitt 9.4	408
A.9 Kapitel 10	408
A.10 Kapitel 11	409
Literaturverzeichnis	411
Sachwortverzeichnis	415