

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundbelastungsarten	2
2.1 Zug	3
2.1.1 Spannungsermittlung bei Zugbeanspruchung	3
2.1.2 Werkstoffverhalten und Kennwerte bei Zugbeanspruchung	4
2.1.3 Zulässige Spannung bei Zugbeanspruchung	13
2.1.4 Formänderungen durch einachsige Normalspannung	15
2.1.5 Aufgaben	17
2.2 Druck	22
2.2.1 Spannungsermittlung bei Druckbeanspruchung	22
2.2.2 Werkstoffverhalten und Kennwerte bei Druckbeanspruchung	22
2.2.3 Zulässige Spannung bei Druckbeanspruchung	25
2.2.4 Aufgaben	26
2.3 Gerade Biegung	28
2.3.1 Spannungsermittlung bei gerader Biegung	29
2.3.2 Axiale Flächen- und Widerstandsmomente zusammengesetzter Querschnitte ..	35
2.3.3 Werkstoffverhalten und Kennwerte bei Biegebeanspruchung	37
2.3.4 Zulässige Spannung bei Biegebeanspruchung	38
2.3.5 Aufgaben	39
2.4 Schub	44
2.4.1 Schubspannung	44
2.4.2 Schiebung (Winkelverzerrung)	45
2.4.3 Formänderung durch Schubspannungen	45
2.4.4 Spannungsermittlung bei Abscherbeanspruchung	46
2.4.5 Werkstoffkennwerte bei Abscherbeanspruchung	46
2.4.6 Zulässige Spannung bei Abscherbeanspruchung	47
2.4.7 Aufgaben	48
2.5 Torsion	50
2.5.1 Spannungsermittlung bei Torsion kreisförmiger Querschnitte	50
2.5.2 Verdrehwinkel	53
2.5.3 Werkstoffverhalten und Kennwerte bei Torsionsbeanspruchung	54
2.5.4 Zulässige Spannung bei Torsionsbeanspruchung	56
2.5.5 Aufgaben	57
2.6 Zusammenfassung der Grundbelastungsarten	61
3 Spannungszustand	62
3.1 Spannungsbegriff	63
3.1.1 Normal- und Schubspannungen	63
3.1.2 Indizierung von Normal- und Schubspannungen	64
3.1.3 Vorzeichenregelung für Normal- und Schubspannungen	64
3.1.4 Zugeordnete Schubspannungen	65

3.2	Einachsiger Spannungszustand	65
3.3	Zweiachsiger (ebener) Spannungszustand	68
3.3.1	Spannungskomponenten und Schnitttrichtung	68
3.3.2	Mohrscher Spannungskreis	70
3.4	Dreiachsiger (räumlicher) Spannungszustand	75
3.4.1	Spannungstensor	75
3.4.2	Berechnung von Normal- und Schnittspannungen in einer bel. Schnittebene ..	77
3.4.3	Hauptnormalspannungen bei dreiachsigem Spannungszustand	78
3.4.4	Mohrscher Spannungskreis für den dreiachsigen Spannungszustand	82
3.4.5	Hauptschubspannungen bei dreiachsigem Spannungszustand	83
3.4.6	Graphische Ermittlung von Schnittspannungen	84
3.5	Aufgaben	85
4	Verformungszustand	88
4.1	Verformungsgrößen	89
4.1.1	Dehnung	89
4.1.2	Schiebung (Winkelverzerrung)	89
4.1.3	Vorzeichenregelung für Dehnungen und Schiebungen	89
4.1.4	Indizierung von Dehnungen und Schiebungen	90
4.2	Verformungszustand und Schnitttrichtung	91
4.2.1	Berechnung der Dehnung ε_x	91
4.2.2	Berechnung der Schiebung γ_{xy}	93
4.3	Mohrscher Verformungskreis	95
4.3.1	Konstruktion des Mohrschen Verformungskreises	96
4.3.2	Hauptdehnungen und Hauptdehnungsrichtungen	97
4.3.3	Verformungszustand	97
4.4	Praktische Anwendung des Mohrschen Verformungskreis	99
4.4.1	Auswertung dreier beliebig orientierter Dehnungsmessstreifen	99
4.4.2	Auswertung einer 0°-45°-90° DMS-Rosette	101
4.5	Grundlagen der Dehnungsmesstechnik	102
4.6	Aufgaben	105
5	Elastizitätsgesetze	107
5.1	Formänderungen durch einachsige Normalspannung	107
5.2	Formänderungen durch Schubspannungen	108
5.3	Formänderungen beim allgemeinen (dreiachsigen) Spannungszustand	108
5.4	Formänderungen beim ebenen (zweiachsigen) Spannungszustand	111
5.5	Aufgaben	112

6 Festigkeitshypothesen	116
6.1 Normalspannungshypothese (NH)	118
6.1.1 NH in Lastspannungen bei zweiachsigem Spannungszustand	118
6.1.2 NH bei Zug- oder Biegebeanspruchung mit überlagerter Torsion	119
6.1.3 Grenzkurve für das Werkstoffversagen nach der NH	119
6.2 Schubspannungshypothese (SH)	121
6.2.1 SH in Lastspannungen bei zweiachsigem Spannungszustand	123
6.2.2 SH bei Zug-, Druck oder Biegebeanspruchung mit überlagerter Torsion	125
6.2.3 Grenzkurve für das Werkstoffversagen nach der SH	125
6.3 Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)	126
6.3.1 GEH in Lastspannungen bei zweiachsigem Spannungszustand	127
6.3.2 GEH bei Zug-, Druck oder Biegebeanspruchung mit überlagerter Torsion	127
6.3.3 Grenzkurve für das Werkstoffversagen nach der GEH	128
6.4 Zusammenfassung der Festigkeitshypothesen	129
6.5 Aufgaben	130
7 Kerbwirkung	138
7.1 Technische Kerben	138
7.2 Auswirkung technischer Kerben	139
7.3 Nennspannung und Formzahl	140
7.3.1 Nennspannung	140
7.3.2 Formzahl	140
7.3.3 Ermittlung von Formzahlen	141
7.3.4 Formzahldiagramme	142
7.4 Kerbwirkung und Bauteilverhalten	143
7.4.1 Kerbwirkung bei spröden Werkstoffen	143
7.4.2 Kerbwirkung bei duktilen Werkstoffen	143
7.5 Aufgaben	146
8 Knickung von Stäben	154
8.1 Knickkraft (Eulersche Knickfälle)	154
8.1.1 Knickung bei außermittigem Kraftangriff	154
8.1.2 Knickung bei mittigem Kraftangriff	158
8.2 Spannungsermittlung bei Knickung	160
8.3 Zulässige Spannung bei Knickung	161
8.4 Knicklänge	161
8.5 Knickspannungsdiagramme	163
8.6 Biegeknickung	165
8.7 Aufgaben	166

9 Schiefe Biegung	171
9.1 Flächenmomente.....	171
9.1.1 Flächenmomente 1. Ordnung	171
9.1.2 Flächenmomente 2. Ordnung	172
9.1.3 Abhängigkeit der Flächenmomente 2. Ordnung vom Koordinatensystem	174
9.2 Spannungsermittlung bei schiefer Biegung.....	178
9.3 Nulllinie.....	180
9.4 Aufgaben.....	182
10 Schubspannungen durch Querkräfte bei Biegung	186
10.1 Spannungsermittlung bei Querkraftschub	186
10.2 Schubspannungen in dünnwandigen Profilträgern.....	190
10.2.1 Horizontale Schubspannungen im Flansch	191
10.2.2 Vertikale Schubspannungen im Steg	191
10.2.3 Schubmittelpunkt	192
10.3 Schubspannungen in genieteten und geschweißten Profilträgern	193
10.3.1 Genietete Träger	193
10.3.2 Geschweißte Träger	194
10.4 Schub- und Normalspannungen bei biegebeanspruchten Balken	195
10.5 Verformung unter Schubbeanspruchung (Schubverformung)	196
10.6 Aufgaben	197
11 Torsion nicht kreisförmiger Querschnitte	200
11.1 Torsion dünnwandiger, geschlossener Hohlprofile.....	200
11.2 Torsion dünnwandiger, offener Hohlprofile	201
11.3 Torsion beliebiger Vollquerschnitte.....	202
11.3.1 Membran-Analogie von Prandtl	202
11.3.2 Strömungsanalogie von Thomson	203
11.4 Grundgleichungen zur Torsion ausgewählter Querschnitte	204
11.5 Aufgaben.....	206
12 Behälter unter Innen- und Außendruck	207
12.1 Dünnwandige Behälter.....	207
12.1.1 Dünnwandige Behälter unter Innendruck.....	207
12.1.2 Dünnwandige Behälter unter Außendruck	210
12.1.3 Dünnwandige Hohlkugel unter Innen- bzw. Außendruck.....	211
12.1.4 Dünnwandige Behälter mit elliptischer Unrundheit	212
12.2 Dickwandige Behälter	213
12.2.1 Elastischer Zustand unter Innen- bzw. Außendruck.....	213
12.2.2 Vollplastischer Zustand unter Innendruck.....	224
12.2.3 Teilplastischer Zustand unter Innendruck	227
12.3 Aufgaben.....	234

13 Werkstoffermüdung und Schwingfestigkeit	245
13.1 Schadensfälle infolge Werkstoffermüdung.....	246
13.2 Mechanismen der Entstehung eines Ermüdungsrissses.....	247
13.3 Ermüdungsbruchflächen	250
13.4 Begriffsdefinitionen	250
13.5 Werkstoffverhalten und Kennwerte	252
13.5.1 Wöhlerversuch und Wöhlerkurve	252
13.5.2 Einteilung der Wöhlerkurve	254
13.5.3 Grenzschwingspielzahl	256
13.5.4 Analytische Beschreibung der Wöhlerkurve	256
13.5.5 Statistische Auswertung von Wöhlerversuchen	258
13.5.6 Dauerfestigkeitskennwerte	260
13.6 Spannungsermittlung bei Schwingbeanspruchung	263
13.6.1 Nachweis der Dauerfestigkeit	264
13.6.2 Festigkeitsbedingung	265
13.7 Einflussgrößen auf die Schwingfestigkeit	265
13.7.1 Mittelspannungseinfluss (Dauerfestigkeitsschaubilder)	266
13.7.2 Einfluss der Oberflächenrauigkeit	277
13.7.3 Einfluss der Proben- bzw. Bauteilgröße - Größeneinfluss.....	280
13.7.4 Einfluss der Temperatur.....	283
13.7.5 Einfluss einer Oberflächenverfestigung (Randschichteinfluss)	284
13.7.6 Einfluss von Eigenspannungen	286
13.7.7 Frequenzeinfluss	287
13.7.8 Kerbwirkung bei schwingender Beanspruchung	288
13.8 Aufgaben.....	293
Anhang 1: Werkstoffkennwerte.....	312
Anhang 2: Sicherheitsfaktoren.....	321
Anhang 3: Formzahldiagramme	322
Anhang 4: Lösungen zu den Aufgaben	330
Anhang 5: Musterklausur 1	373
Anhang 6: Musterklausur 2	388
Anhang 7: Musterklausur 3	399
Anhang 8: Englische Fachausdrücke	411
Literaturverzeichnis	425
Sachwortverzeichnis	428