

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundbelastungsarten</b>	<b>2</b>
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
<b>3</b>	<b>Spannungszustand</b>	<b>62</b>
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
<b>4 Verformungszustand .....</b>	<b>88</b>
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 $\epsilon_x$ .....	91
4.2.2 Berechnung der Schiebung $\gamma_{xy}$ .....	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
<b>5 Elastizitätsgesetze .....</b>	<b>107</b>
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

---

<b>6 Festigkeitshypothesen</b> .....	<b>116</b>
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
<b>7 Kerbwirkung</b> .....	<b>138</b>
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
<b>8 Knickung von Stäben</b> .....	<b>154</b>
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

<b>9 Schiefe Biegung .....</b>	<b>171</b>
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
<b>10 Schubspannungen durch Querkräfte bei Biegung .....</b>	<b>186</b>
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
<b>11 Torsion nicht kreisförmiger Querschnitte .....</b>	<b>200</b>
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
<b>12 Behälter unter Innen- und Außendruck .....</b>	<b>207</b>
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

---

<b>13 Werkstoffermüdung und Schwingfestigkeit</b> .....	<b>245</b>
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
<b>Anhang 1: Werkstoffkennwerte</b> .....	<b>312</b>
<b>Anhang 2: Sicherheitsfaktoren</b> .....	<b>321</b>
<b>Anhang 3: Formzahldiagramme</b> .....	<b>322</b>
<b>Anhang 4: Lösungen zu den Aufgaben</b> .....	<b>330</b>
<b>Anhang 5: Musterklausur 1</b> .....	<b>373</b>
<b>Anhang 6: Musterklausur 2</b> .....	<b>388</b>
<b>Anhang 7: Musterklausur 3</b> .....	<b>399</b>
<b>Anhang 8: Englische Fachausdrücke</b> .....	<b>411</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>425</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>428</b>