

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 | 5 |
| 1.2.6 | Knickbeanspruchung | 6 |
| 1.2.7 | Zusammengesetzte Beanspruchung | 7 |
| 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 | 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 | 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 | 64 |
| 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 | 69 |
| 3.4 | Aufgaben zu Kapitel 3 | 76 |
| 3.5 | Formelzusammenfassung Kapitel 3 | 78 |
| 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 | 117 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 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 | 165 |
| 5.3 | Formänderungsarbeit bei der Biegung - Biegefedern | 171 |
| 5.4 | Vergleichende Beurteilung von Biegespannung und Durchbiegung .. | 175 |
| 5.5 | Durchbiegung bei schiefer Biegung | 178 |
| 5.6 | Aufgaben zu Kapitel 5 | 180 |
| 5.7 | Formelzusammenfassung Kapitel 5 | 182 |
| 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 | 216 |
| 7.1.3 | Torsionsstäbe mit Kreisringquerschnitt | 216 |
| 7.1.4 | Torsionsstäbe mit beliebiger Querschnittform | 222 |
| 7.1.4.1 | Dünnwandige Hohlquerschnitte | 225 |
| 7.1.4.2 | Rechteck | 226 |
| 7.1.4.3 | Dünnwandige offene Profilquerschnitte | 227 |
| 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 | 235 |
| 7.2 | Torsionsbeanspruchung gekrümmter Stäbe | 236 |
| 7.2.1 | 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 | 245 |
| 7.4 | Formelzusammenfassung Kapitel 7 | 246 |
| 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 | 268 |
| 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 | 289 |
| 9.2.2 | Ebener - zweiachsiger - Spannungszustand | 291 |
| 9.2.2.1 | Abhängigkeit der Spannung von der Schnitttrichtung - 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 | 314 |
| 9.4.1 | Vergleichsspannung | 316 |
| 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 | 325 |
| 9.5.4 | Aufgaben zu Abschnitt 9.4 | 326 |
| 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 | Kreiszyylinder unter Axialdruck | 365 |
| 10.4.2 | Konstanter Außendruck | 366 |
| 10.5 | Aufgaben zu Kapitel 10 | 368 |
| 10.6 | Formelzusammenfassung Kapitel 10 | 369 |
| 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 | 376 |
| 11.2.1.2 | Außendruck | 376 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11.2.2 | Fließbeginn - vollplastischer Grenzzustand | 382 |
| 11.2.3 | Näherungsrechnung im teilplastischen Bereich - Berechnungsvorschriften | 383 |
| 11.2.4 | Mehrlagenbehälter - Schrumpfvverbindungen | 387 |
| 11.3 | Aufgaben zu Kapitel 11 | 391 |
| 12 | Lösungen zu den Aufgaben | 393 |
| 12.1 | Kapitel 2 | 393 |
| 12.2 | Kapitel 3 | 395 |
| 12.3 | Kapitel 4 | 396 |
| 12.3.1 | Abschnitt 4.1 | 396 |
| 12.3.2 | Abschnitt 4.2 | 396 |
| 12.3.3 | Abschnitt 4.3 | 400 |
| 12.3.4 | Abschnitt 4.4 | 401 |
| 12.4 | Kapitel 5 | 401 |
| 12.5 | Kapitel 6 | 403 |
| 12.6 | Kapitel 7 | 403 |
| 12.6.1 | Abschnitt 7.1 | 403 |
| 12.6.2 | Abschnitt 7.2 | 404 |
| 12.7 | Kapitel 8 | 405 |
| 12.8 | Kapitel 9 | 405 |
| 12.8.1 | Abschnitt 9.1 | 405 |
| 12.8.2 | Abschnitt 9.2 | 406 |
| 12.8.3 | Abschnitt 9.3 | 407 |
| 12.8.4 | Abschnitt 9.4 | 408 |
| 12.9 | Kapitel 10 | 408 |
| 12.10 | Kapitel 11 | 409 |
| 13 | Beispiele von Klausuraufgaben mit Lösungen | 411 |
| | Literaturverzeichnis | 425 |
| | Sachwortverzeichnis | 429 |