

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |  |    |
|--|----|--|----|
| <b>1. Vorbetrachtungen — Steifigkeit von Konstruktionen — Netzwerkanalyse</b>                  |    | <b>3. Verallgemeinerung des Verfahrens der finiten Elemente</b>          |    |
| 1.1. Einleitung . . . . .  | 17 | 3.1. Allgemeine Variationsprobleme . .                                   | 44 |
| 1.2. Das Bauelement . . . . .  | 18 | 3.2. Konvergenzkriterien . . . . .                                       | 46 |
| 1.3. Untersuchung des Gesamtsystems  | 22 | 3.3. Knotenfreie Variable . . . . .                                      | 47 |
| 1.4. Koordinatentransformation . . .   | 25 | 3.4. Alternativ-Verfahren zur Methode der finiten Elemente . . . . .     | 49 |
| 1.5. Verzweigte Stromkreise und Rohrsysteme . . . . .  | 26 | 3.5. Erstes Beispiel: Die Poissonsche Differentialgleichung . . . . .    | 51 |
| 1.6. Das allgemeine Schema . . . . .   | 28 | 3.5.1. Minimum des Funktionals . . . .                                   | 52 |
|  |    | 3.5.2. Verfahren des gewichteten Restes                                  | 53 |
| <b>2. Finite Elemente des elastischen Kontinuums — Ansatz für die Verschiebung</b>             |    | 3.6. Zweites Beispiel: Die laminare Strömung . . . . .                   | 54 |
| 2.1. Einleitung . . . . .  | 30 | 3.7. Schlußbemerkungen . . . . .   | 57 |
| 2.2. Bestimmung der Charakteristika finiter Elemente . . . . .                                 | 31 | <b>4. Ebener Spannungszustand und ebener Verzerrungszustand</b>          |    |
| 2.2.1. Verschiebungsfunktion . . . . .   | 31 | 4.1. Einleitung . . . . .  | 58 |
| 2.2.2. Verzerrungen . . . . .  | 33 | 4.2. Charakteristika des Elementes . .                                   | 59 |
| 2.2.3. Spannungen . . . . .  | 33 | 4.2.1. Verschiebungsfunktionen . . . .                                   | 59 |
| 2.2.4. Ersatz-Knotenkräfte . . . . .   | 34 | 4.2.2. Verzerrung . . . . .  | 60 |
| 2.2.5. Verallgemeinerte Bedeutung der Verschiebungen, Verzerrungen und Spannungen . . . . .    | 37 | 4.2.3. Anfangsverzerrungen (thermisch bedingte Verzerrungen) . . . . .   | 61 |
| 2.3. Verallgemeinerung auf den gesamten Bereich ohne Verwendung innerer Knotenkräfte . . . . . | 37 | 4.2.4. Elastizitätsmatrix . . . . .                                      | 63 |
| 2.4. Der Verschiebungsansatz als Energieminimierungs-Verfahren . . . . .                       | 39 | 4.2.5. Steifigkeitsmatrix . . . . .                                      | 65 |
| 2.5. Konvergenzkriterien . . . . .   | 41 | 4.2.6. Knotenkräfte zufolge der Anfangsverzerrung . . . . .              | 66 |
| 2.6. Verschiebungsfunktionen mit Unstetigkeiten zwischen den Elementen . . . . .               | 42 | 4.2.7. Volumenkräfte . . . . .   | 66 |
| 2.7. Schranke der Formänderungsenergie in einem Verschiebungsverfahren . . . . .               | 42 | 4.2.8. Potential der Volumenkraft . . .                                  | 67 |
| 2.8. Direkte Minimierung . . . . .   | 43 | 4.2.9. Spannungsbestimmung . . . . .                                     | 68 |
|  |    | 4.3. Beispiele — Abschätzung der Genauigkeit . . . . .                   | 68 |
|  |    | 4.4. Praktische Anwendung . . . . .                                      | 71 |
|  |    | 4.5. Ebener Verzerrungszustand eines inkompressiblen Werkstoffes . . . . | 82 |
|  |    | <b>5. Rotationssymmetrischer Spannungszustand</b>                        |    |
|  |    | 5.1. Einleitung . . . . .  | 83 |
|  |    | 5.2. Charakteristika des Elementes . .                                   | 84 |

|                    |  |     |                          |   |
|--------------------|--|-----|--------------------------|---|
| 5.2.1.             | Verschiebungsfunktion . . . . .  | 84  | EINDIMENSIONALE          |   |
| 5.2.2.             | Verzerrungen . . . . .   | 85  | ELEMENTE . . . . .       | 128   |
| 5.2.3.             | Anfangsverzerrung (thermische<br>Verzerrung) . . . . .                                       | 86  | 7.8.                     | Lineare Elemente . . . . . 128  |
| 5.2.4.             | Elastizitätsmatrix . . . . .   | 87  | DREIDIMENSIONALE         |   |
| 5.2.5.             | Steifigkeitsmatrix . . . . .   | 88  | ELEMENTE . . . . .       | 129   |
| 5.2.6.             | Äußere Knotenkräfte . . . . .  | 90  | 7.9.                     | Rechteckige Prismen —<br>SERENDIPITY-Klasse . . . . . 129   |
| 5.2.7.             | Knotenkräfte zufolge einer<br>Anfangsverzerrung . . . . .                                    | 91  | 7.10.                    | Rechteckige Prismen —<br>LAGRANGESCHE Klasse . . . . . 131  |
| 5.2.8.             | Volumenkräfte . . . . .  | 91  | 7.11.                    | Tetraeder-Elemente . . . . . 131  |
| 5.2.9.             | Spannungsberechnung . . . . .  | 92  | 7.11.1.                  | Volumen-Koordinaten . . . . . 131   |
| 5.3.               | Beispiele . . . . .  | 94  | 7.11.2.                  | Formfunktion . . . . . 133  |
| 5.4.               | Praktische Anwendungen . . . . .   | 95  | 7.12.                    | Andere einfache räumliche<br>Elemente . . . . . 133   |
| 5.5.               | Unsymmetrische Beanspruchung . . . . .   | 96  | 7.13.                    | Schlußbemerkungen . . . . . 135   |
| <b>6.</b>          | <b>Räumlicher Spannungszustand</b>   |     | <b>8.</b>                | <b>Gekrümmte, isoparametrische<br/>Elemente und numerische Inte-<br/>gration</b>  |
| 6.1.               | Einleitung . . . . .   | 100 | 8.1.                     | Einleitung . . . . . 136  |
| 6.2.               | Charakteristika des Tetraeder-<br>Elementes . . . . .  | 101 | KRUMMLINIGE              |   |
| 6.2.1.             | Verschiebungsfunktionen . . . . .  | 101 | KOORDINATEN . . . . .    | 138   |
| 6.2.2.             | Verzerrungsmatrix . . . . .  | 103 | 8.2.                     | Die Anwendung von Form-<br>funktionen bei der Aufstellung von<br>Koordinatentransformationen . . . 138                              |
| 6.2.3.             | Elastizitätsmatrix . . . . .   | 104 | 8.3.                     | Die Kompatibilität der Elemente . . . 140   |
| 6.2.4.             | Steifigkeit, Spannung und<br>Belastungsmatrizen . . . . .                                    | 105 | 8.4.                     | Variation der unbekanntenen Funk-<br>tionen bei verzerrten, krümm-<br>linigen Elementen — Stetigkeits-<br>forderungen . . . . . 142 |
| 6.3.               | Elemente mit acht Knoten . . . . .   | 106 | 8.5.                     | Erfüllung des Kriteriums der<br>konstanten Ableitung . . . . . 143  |
| 6.4.               | Beispiele und Schlußbemerkungen . . . . .  | 106 | TRANSFORMATION . . . . . | 145   |
| <b>7.</b>          | <b>Formfunktionen der Elemente —<br/>Elementklassen</b>                                      |     | 8.6.                     | Bestimmung der Elementmatrizen<br>(Transformation in $\xi$ -, $\eta$ -, $\zeta$ -Koor-<br>dinaten) . . . . . 145                    |
| 7.1.               | Einleitung . . . . .   | 112 | 8.7.                     | Elementmatrizen — Flächen- und<br>Volumenkoordinaten . . . . . 147  |
| ZWEIDIMENSIONALE   |  |     | NUMERISCHE INTEGRATION   | 149   |
| ELEMENTE . . . . . |  | 113 | 8.8.                     | Numerische Integration —<br>eindimensional . . . . . 149  |
| 7.2.               | Rechteckige Elemente — Vor-<br>betrachtungen . . . . .                                       | 113 |                          |   |
| 7.3.               | Rechteckige Elemente —<br>SERENDIPITY-Klasse . . . . .                                       | 116 |                          |   |
| 7.4.               | Rechteckige Elemente —<br>LAGRANGESCHE Klasse . . . . .                                      | 118 |                          |   |
| 7.5.               | Innere Knoten und knotenlose<br>Variable . . . . .   | 120 |                          |   |
| 7.6.               | Eliminierung der inneren Variablen<br>vor dem Zusammenfügen — Unter-<br>strukturen . . . . . | 122 |                          |   |
| 7.7.               | Dreieckselemente . . . . .   | 124 |                          |   |
| 7.7.1.             | Flächen-Koordinaten . . . . .  | 124 |                          |   |
| 7.7.2.             | Formfunktionen . . . . .   | 126 |                          |   |

|            |  |            |   |  |
|------------|--|------------|---|--|
| 8.9.       | Numerische Integration —<br>Rechteck- oder Quader-Bereiche . . . . .   | 152        | KONFORME FORM-<br>FUNKTIONEN MIT KNOTEN-<br>SINGULARITÄTEN . . . . .                | 202  |
| 8.10.      | Numerische Integration —<br>Dreieck- oder Tetraeder-Bereich . . . . .  | 153        |   |  |
| 8.11.      | Schlußbemerkungen . . . . .  | 157        | 10.9.   | Allgemeine Bemerkungen . . . . .   |
| <b>9.</b>  | <b>Anwendung der isoparametri-<br/>schen Elemente in der zwei- und<br/>dreidimensionalen Spannungsbe-<br/>rechnung</b> |            | 10.10.  | Singuläre Formfunktionen für das<br>einfache Dreieckselement . . . . .                         |
| 9.1.       | Einleitung . . . . .   | 158        | 10.11.  | Dreieckselement mit achtzehn Frei-<br>heitsgraden und konformen Form-<br>funktionen. . . . .   |
| 9.2.       | Erforderliche Genauigkeit der<br>numerischen Integration. . . . .  | 159        | 10.12.  | Konforme Viereckselemente . . . . .  |
| 9.3.       | Ein Rechenvorteil der numerisch<br>integrierten finiten Elemente . . . . .   | 160        | 10.13.  | Einige Lösungen mit konformen<br>Elementen . . . . .   |
| 9.4.       | Einige praktische Beispiele der Be-<br>rechnung zweidimensionaler<br>Spannungszustände . . . . .                       | 162        | <b>KONFORME FORMFUNK-<br/>TIONEN MIT ZUSÄTZLICHEN<br/>FREIHEITSGRADEN . . . . .</b> | <b>209</b>   |
| 9.5.       | Berechnung dreidimensionaler<br>Spannungszustände . . . . .  | 165        | 10.14.  | HERMITESche Formfunktionen für<br>das Rechteck . . . . .                                       |
| 9.6.       | Einige allgemeine Bemerkungen<br>über Elemente höherer Ordnung . . . . .   | 172        | 10.15.  | Dreiecke mit achtzehn und ein-<br>undzwanzig Freiheitsgraden . . . . .                         |
| <b>10.</b> | <b>Plattenbiegung</b>  |            | 10.16.  | Schlußbemerkungen . . . . .  |
| 10.1.      | Einleitung . . . . .   | 175        | <b>11. Schalenmodelle aus ebenen Ele-<br/>menten</b>                                |  |
| 10.2.      | Der Verschiebungsansatz des<br>Plattenproblems . . . . .   | 176        | 11.1.   | Einleitung . . . . .   |
| 10.3.      | Stetigkeitsforderung für die Form-<br>funktion. . . . .  | 179        | 11.2.   | Steifigkeitsmatrix des ebenen<br>Elementes in lokalen Koordinaten . . . . .                    |
|            | <b>NICHTKONFORME<br/>FORMFUNKTIONEN . . . . .</b>  | <b>181</b> | 11.3.   | Einführung von Globalkoordinaten<br>— Zusammenfügen der Elemente . . . . .                     |
| 10.4.      | Rechteckelement mit Eckknoten . . . . .  | 181        | 11.4.   | Einführung einer fiktiven Dreh-<br>steifigkeit . . . . .                                       |
| 10.4.1.    | Formfunktionen . . . . .   | 181        | 11.5.   | Lokale Richtungskosinus . . . . .  |
| 10.4.2.    | Steifigkeits- und Belastungs-<br>matrizen . . . . .  | 183        | 11.5.1.   | Rechteckelemente . . . . .   |
| 10.5.      | Allgemeine Vierecks- und Parallelo-<br>grammelemente . . . . .   | 187        | 11.5.2.   | Dreieckselemente mit beliebiger<br>Orientierung im Raum . . . . .                              |
| 10.6.      | Dreieckselement mit Eckknoten . . . . .  | 188        | 11.6.   | Praktische Beispiele . . . . .   |
| 10.6.1.    | Formfunktion . . . . .   | 188        | 11.7.   | Konvergenz . . . . .   |
| 10.6.2.    | Steifigkeits- und Belastungs-<br>matrizen . . . . .  | 191        | <b>12. Rotationsschalen</b>   |  |
| 10.7.      | Konvergenz bei nichtkonformen<br>Elementen . . . . .   | 191        | 12.1.   | Einleitung . . . . .   |
| 10.8.      | Lösungsbeispiele . . . . .   | 193        | 12.2.   | Elementcharakteristika —<br>Rotationssymmetrische Belastung<br>— Geradlinige Elemente. . . . . |
| 10.8.1.    | Rechteckelemente . . . . .   | 193        | 12.3.   | Beispiele und Genauigkeit . . . . .  |
| 10.8.2.    | Dreieckselemente — Quadratische<br>isotrope Platte . . . . .   | 196        |   |  |
| 10.8.3.    | Einige praktische Anwendungen . . . . .  | 198        |   |  |

|            |   |     |            |  |     |
|------------|---|-----|------------|--|-----|
| 12.4.      | Gekrümmte Elemente und ihre Formfunktion . . . . .  | 241 | 15.3.      | Aufteilung in finite Elemente . . . . .  | 286 |
| 12.5.      | Ausdrücke für die Verzerrungen, Eigenschaften der gekrümmten Elemente . . . . .                   | 243 | 15.3.1.    | Der allgemeine dreidimensionale Fall . . . . .   | 286 |
| 12.6.      | Zusätzliche knotenlose Variable . . . . .   | 246 | 15.3.2.    | Konvergenzbedingungen . . . . .  | 288 |
|            |   |     | 15.3.3.    | Inhomogenität und Anisotropie . . . . .  | 288 |
|            |   |     | 15.3.4.    | Das zweidimensionale Problem . . . . .   | 289 |
| <b>13.</b> | <b>Halbanalytische Verfahren — Anwendung orthogonaler Funktionen</b>                              |     | 15.4.      | Beispiele — Abschätzung der Genauigkeit . . . . .  | 291 |
| 13.1.      | Einleitung . . . . .  | 248 | 15.5.      | Anwendungen aus der Praxis . . . . .   | 295 |
| 13.2.      | Der prismatische Stab . . . . .   | 251 | 15.6.      | Probleme der biharmonischen Gleichung — Viskoses Fließen . . . . .                                       | 304 |
| 13.3.      | Dünnwandiges Kastentragwerk . . . . .   | 254 | 15.7.      | Analogiebetrachtungen . . . . .  | 307 |
| 13.4.      | Platte und Kasten unter Biegebeanspruchung . . . . .  | 255 | 15.8.      | Zusammenfassende Bemerkungen . . . . .   | 307 |
| 13.5.      | Rotationssymmetrische Körper unter unsymmetrischer Belastung . . . . .                            | 256 |            |  |     |
| 13.6.      | Rotationsschalen mit nichtrotationssymmetrischer Belastung . . . . .                              | 259 | <b>16.</b> | <b>Die Zeitabhängigkeit — Grundsätze für instationäre Felder und dynamische Probleme</b>                 |     |
| 13.7.      | Abschließende Bemerkungen . . . . .   | 263 | 16.1.      | Einleitung . . . . .   | 308 |
|            |   |     | 16.2.      | Direkte Formulierung der zeitabhängigen Probleme bei Unterteilung in räumliche finite Elemente . . . . . | 308 |
| <b>14.</b> | <b>Die dicke Schale als Sonderfall des dreidimensionalen Problems</b>                             |     | 16.2.1.    | Die quasiharmonischen Gleichungen mit Zeitdifferentialen . . . . .                                       | 308 |
| 14.1.      | Einleitung . . . . .  | 265 | 16.2.2.    | Dynamisches Verhalten von elastischen Gebilden und linearer Dämpfung . . . . .                           | 310 |
| 14.2.      | Geometrische Definition des Elementes . . . . .   | 266 | 16.2.3.    | Massen- oder Dämpfungsmatrizen für einige typische Elemente . . . . .                                    | 313 |
| 14.3.      | Das Verschiebungsfeld . . . . .   | 268 | 16.3.      | Gekoppelte Probleme . . . . .  | 315 |
| 14.4.      | Definition der Verzerrungen und Spannungen . . . . .  | 269 | 16.3.1.    | Gekoppelte Bewegung eines elastischen Gebildes in einer Flüssigkeit . . . . .                            | 316 |
| 14.5.      | Elementeigenschaften und erforderliche Transformationen . . . . .                                 | 271 | 16.3.2.    | Elastisches Verhalten von porösem, gesättigtem Material . . . . .  | 318 |
| 14.6.      | Einige Bemerkungen zu den Spannungen . . . . .  | 273 | 16.4.      | Weitere Möglichkeit zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufes . . . . .                                    | 320 |
| 14.7.      | Sonderfall der rotationssymmetrischen dicken Schale . . . . .                                     | 274 | 16.5.      | Rekursionsbeziehungen für die Lösung von Anfangswertproblemen — Finite Zeitelemente . . . . .            | 320 |
| 14.8.      | Sonderfall der dicken Platte . . . . .  | 277 | 16.5.1.    | Probleme mit zeitlichen Ableitungen erster Ordnung . . . . .   | 321 |
| 14.9.      | Konvergenz . . . . .  | 277 | 16.5.2.    | Probleme mit zeitlichen Ableitungen zweiter Ordnung . . . . .  | 323 |
| 14.10.     | Beispiele . . . . .   | 279 | 16.5.3.    | Gekoppelte Probleme . . . . .  | 325 |
|            |   |     | 16.5.4.    | Einige Beispiele . . . . .   | 325 |
| <b>15.</b> | <b>Stationäre Feldprobleme — Wärmeleitung, elektrische Potentialverteilung, Strömungsprobleme</b> |     | 16.6.      | Ein anderes instationäres Problem — Die Sickerströmung bei freier Oberfläche . . . . .                   | 328 |
| 15.1.      | Einleitung . . . . .  | 283 | 16.7.      | Zusammenfassung . . . . .  | 329 |
| 15.2.      | Das Extremwertproblem . . . . .   | 284 |            |  |     |

|   |            |   |            |
|---|------------|---|------------|
| <b>17. Die Zeitabhängigkeit — Halb-analytische Behandlung (Schwingung und Eigenwerte)</b>       |            | 18.4.3. Anwendung des Verfahrens der Anfangsspannung bei Problemen der Plastizität . . . . .  | 362        |
| 17.1. Einleitung . . . . .  | 330        | 18.5. Material ohne Zugfestigkeit . . . . .   | 370        |
| 17.2. Lösung der dynamischen Grundgleichung bei periodischen Vorgängen . . . . .                | 330        | 18.6. Geschichtetes Material und Passungselemente . . . . .                                   | 373        |
| 17.3. Eigenfrequenzen . . . . .   | 331        | 18.7. Kriechen: Zeitabhängige Verzerrungen . . . . .  | 375        |
| 17.4. Lösung des Eigenwertproblems . . . . .  | 332        | 18.7.1. Allgemeines . . . . .   | 375        |
| 17.4.1. Allgemeine Bemerkungen . . . . .  | 332        | 18.7.2. Abhängigkeit der Kriecherscheinung von der Vorgeschichte (Viskoelastizität) . . . . . | 376        |
| 17.4.2. Freie Schwingungen . . . . .  | 333        | 18.7.3. Zustandsabhängige Kriechgesetze . . . . .   | 379        |
| 17.4.3. Methoden zur Ermittlung des Eigenwertes . . . . .                                       | 333        | 18.8. Spezielle Approximation bei der Lösung von Kriechproblemen . . . . .                    | 382        |
| 17.5. Einige Beispiele zur Eigenwertbestimmung . . . . .  | 335        | 18.9. Abschließende Bemerkungen . . . . .   | 386        |
| 17.5.1. Schwingungen von Platten . . . . .  | 335        |   |            |
| 17.5.2. Schwingungen in einer Ebene . . . . .   | 339        | <b>WEITERE NICHTLINEARE PROBLEME . . . . .</b>  | <b>387</b> |
| 17.5.3. Schalenschwingungen . . . . .   | 339        | 18.10. Nichtlineare quasiharmonische Feldprobleme . . . . .                                   | 387        |
| 17.5.4. Die Wellengleichung — Elektromagnetische und Strömungsprobleme . . . . .                | 342        | 18.11. Ausblick auf Erweiterungsmöglichkeiten . . . . .                                       | 389        |
| 17.5.5. Gekoppelte Bewegung eines Gebildes in einer Flüssigkeit . . . . .                       | 346        |   |            |
| 17.6. Instationäre Lösungen mit Hilfe von Eigenwerten — Normiertes Eigenformverfahren . . . . . | 346        | <b>19. Geometrisch nichtlineare Probleme, große Verschiebungen und Stabilitätsprobleme</b>    |            |
|   |            | 19.1. Einleitung . . . . .  | 390        |
| <b>18. Nichtlineare Materialprobleme — Plastizität, Kriechen, nichtlineare Feldprobleme</b>     |            | 19.2. Allgemeine Betrachtungen . . . . .  | 391        |
| 18.1. Einleitung . . . . .  | 349        | 19.2.1. Grundproblem . . . . .  | 391        |
|   |            | 19.2.2. Iterationsprozesse . . . . .  | 392        |
| <b>NICHTLINEARE STOFFGESETZE IN DER FESTKÖRPERMECHANIK . . . . .</b>                            | <b>350</b> | 19.2.3. Stabilitätsproblem . . . . .  | 393        |
| 18.2. Allgemeiner physikalischer Ansatz . . . . .   | 350        | 19.2.4. Energetische Interpretation des Stabilitätskriteriums . . . . .                       | 394        |
| 18.2.1. Grundlagen . . . . .  | 350        | 19.2.5. Verformungsabhängige Kräfte . . . . .   | 394        |
| 18.2.2. Methode der veränderlichen Steifigkeitsmatrix . . . . .                                 | 351        | 19.3. Große Durchsenkungen und Initial-Stabilität von Platten . . . . .                       | 395        |
| 18.2.3. Methode der Anfangsspannung . . . . .   | 352        | 19.3.1. Definitionen . . . . .  | 395        |
| 18.2.4. Methode der Anfangsverzerrung . . . . .   | 353        | 19.3.2. Berechnung von $[\bar{B}]$ . . . . .  | 397        |
| 18.2.5. Konvergenzverbesserung . . . . .  | 354        | 19.3.3. Berechnung von $[K_T]$ . . . . .  | 399        |
| 18.3. Ein mathematisch fundiertes Verfahren . . . . .   | 355        | 19.3.4. Große Durchsenkungen . . . . .  | 400        |
| 18.4. Plastizität . . . . .   | 358        | 19.3.5. Bifurkationsinstabilität . . . . .  | 400        |
| 18.4.1. Allgemeine Grundlagen . . . . .   | 358        | 19.4. Schalen . . . . .   | 402        |
| 18.4.2. Bemerkungen zur Entwicklungstendenz . . . . .   | 361        | 19.5. Allgemeine Verfahren für große Verzerrungen und Verschiebungen . . . . .                | 403        |
|   |            | 19.5.1. Herleitung der Matrix $[B_L]$ . . . . .   | 405        |
|   |            | 19.5.2. Herleitung der Matrix $[K_T]$ . . . . .   | 406        |
|   |            | 19.6. Abschließende Bemerkungen . . . . .   | 407        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>20. Anwendung der elektronischen Rechentechnik</b>                    |     |
| 20.1. Einleitung . . . . .   | 409 |
| 20.2. Finite-Elemente-System . . . . .                                   | 410 |
| 20.3. Dateneingabe . . . . .   | 413 |
| 20.3.1. Knotenpunktkoordinaten und Elementcharakteristika . . . . .      | 413 |
| 20.3.2. Materialeigenschaften . . . . .                                  | 413 |
| 20.3.3. Belastungen . . . . .  | 414 |
| 20.3.4. Randbedingungen . . . . .  | 414 |
| 20.4. Berechnung der Steifigkeitsmatrix                                  | 417 |
| 20.5. Aufstellen und Lösen des Gleichungssystems . . . . .               | 421 |
| 20.5.1. Das GAUSSsche Verfahren . . . . .                                | 422 |
| 20.5.2. Effektive Speicherplatzanordnung für Bandmatrizen . . . . .      | 424 |
| 20.5.3. GAUSS-SEIDEL-Iteration . . . . .                                 | 425 |
| 20.5.4. Weitere direkte Lösungsverfahren                                 | 426 |
| 20.5.5. Einige Weiterentwicklungen . . . . .                             | 427 |
| 20.5.6. Anwendung der Randbedingungen                                    | 428 |
| 20.5.7. Beispiele . . . . .  | 429 |
| 20.6. Berechnung der inneren Kräfte und Ausgabe der Ergebnisse . . . . . | 433 |
| 20.7. Beispiel . . . . .   | 435 |
| 20.8. Ausgabe der Ergebnisse . . . . .                                   | 439 |
| 20.9. Eigenwertbestimmung durch Iteration . . . . .                      | 443 |
| 20.10. Abschließende Bemerkungen . . . . .                               | 447 |
| Anhang . . . . .   | 463 |
| Literaturverzeichnis . . . . .   | 475 |
| Sachwortverzeichnis . . . . .  | 493 |