

## Literaturverzeichnis

### *Lehrbücher*

- Bathe, K.-H.; Wilson, E. L.: Numerical Methods in Finite Element Analysis. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall 1976
- Bathe, K.-H.: Finite-Elemente-Methoden. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1986
- Dankert, J.: Numerische Methoden der Mechanik. Wien: Springer 1977
- Gallagher, R. H.: Finite-Element-Analysis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1976
- Hahn, H. G.: Methode der finiten Elemente in der Festigkeitslehre. 2. Aufl. Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft 1982
- Link, M.: Finite Elemente in der Statik und Dynamik. Stuttgart: Teubner 1984
- Przemieniecki, J. S.: Theory of Matrix Structural Analysis. London: McGraw-Hill 1968
- Schwarz, H. R.: Methode der finiten Elemente. 2. Aufl. Stuttgart: Teubner 1984
- Szilard, R.: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik. Bd. 1: Stabwerke. Berlin: Ernst & Sohn 1982
- Zienkiewicz, O. C.: The Finite Element Method in Engineering Sciences. 3rd ed. Maidenhead, Berkshire, England: McGraw-Hill 1977
- Zienkiewicz, O. C.: Methode der finiten Elemente. 2. Aufl. München, Wien: Hanser 1984
- Zurmühl, R.; Falk, S.: Matrizen und ihre Anwendungen für Angewandte Mathematiker, Physiker und Ingenieure. Tl. 1: Grundlagen. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer 1984

### *Weiterführende Lehrbücher*

- Buck, K. E.; Scharpf, D. W.; Stein, E.; Wunderlich, W. (Hrsg.): Finite Elemente in der Statik. Berlin: Ernst & Sohn 1973
- Clough, R. W.; Penzien, J.: Dynamics of Structures. New York: McGraw-Hill 1975
- Meißner, U.: MEDYNA I — Ein maschinenunabhängiges FORTRAN-Programmsystem zur statischen Berechnung von Stab- und Flächentragwerken mit der Methode der finiten Elemente. Fortschrittsber. der VDI-Zeitschriften. (Reihe Bauingenieurwesen). Reihe 4, Nr. 41. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978
- Pahl, P. J.; Stein, E.; Wunderlich, W. (Hrsg.): Finite Elemente in der Baupraxis. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn 1978
- Grundmann, E.; Stein, E.; Wunderlich, W. (Hrsg.): Finite Elemente. Anwendungen in der Baupraxis. Berlin: Ernst & Sohn 1985
- Pestel, E. C.; Leckie, F. A.: Matrix Methods in Elastomechanics. New York: McGraw-Hill 1963.
- Prenter, P. M.: Splines and Variational Methods. New York: Wiley 1975
- Schwarz, H. R.: FORTRAN-Programme zur Methode der finiten Elemente. Stuttgart: Teubner 1981

### *Spezielle Veröffentlichungen und Aufsätze zum Lehrstoff*

- Argyris, J. H.; Brönlund, O. E.: The Natural Factor Formulation of the Stiffness for the Matrix Displacement Method. Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. 5 (1975) 97–119
- Babuska, I.; Miller, A.: The Post-Processing Approach in the Finite Element Method — Part 3: A Posteriori Error Estimates and Adaptive Mesh Selection. Int. J. Num. Meth. Eng. 20 (1984) 815–822

- Duddeck, H.: Was leistet die Theorie für den Standsicherheitsnachweis im Tunnelbau. Konstruktiver Ingenieurbau in Forschung und Praxis. Düsseldorf: Werner 1976
- Kelly, D. W.; Gago, R.; Zienkiewicz, O. C.; Babuska, I.: A Posteriori Error Analysis and Adaptive Processes in the Finite Element Method. Part I: Error Analysis. Int. J. Num. Meth. Eng. 19 (1983) 1593–1619
- Klöhn, C.: Alternative Spannungsberechnung in Finite-Elemente-Verschiebungsmodellen. Forschungs- und Seminarberichte aus dem Bereich der Mechanik der Universität Hannover, Bericht-Nr. F 82/2, 1982
- Polónyi, S.; Reyer, E.: Zuverlässigkeitsbetrachtungen und Kontrollmöglichkeiten (Prüfung) zu praktischen Berechnungen mit der Finiten-Element-Methode. Bautechnik 52 (1975) 374–384
- Rank, E.: A-Posteriori-Fehlerabschätzungen und adaptive Netzverfeinerungen für Finite-Element- und Randintegral-Methoden. Mitt. aus dem Institut für Bauingenieurwesen I, TU München 1985
- Scharf, D.: Anwendung von Elementprogrammen im Brücken- und Hochbau. RIB-Arbeitstagung. Frankfurt 1978
- Withum, D.: Berechnung räumlicher Stabtragwerke. Bauingenieur 41 (1966) 476–484
- Wolf, J. P.: Generalized Stress Models for Finite-Element Analysis. Bericht aus dem Institut für Bau- statik, ETH Zürich. 52. Basel: Birkhäuser 1974
- Zienkiewicz, O. C.; Zhu, J. Z.: A Simple Error Estimator and Adaptive Procedure for Practical Engineering Analysis. Int. J. Num. Meth. Eng. 24 (1987) 337–357

#### *Sonstige Literatur*

- Pflüger, A.: Statik für Stabtragwerke. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1978
- Meißner, U.; Pahl, P. J.: Nutzung von Kommunikationsnetzen für das Bauingenieurwesen. In: Wunderlich, W.; Stein, E. (Hrsg.): Finite Elemente. Anwendungen in der Baupraxis. Berlin: Ernst & Sohn 1988, S. 503–513
- Pahl, P. J.; Beilschmidt, L.: Informationssystem Technik, Programmierhandbuch. IST-Bericht. Berlin 1977

#### *Literatur zur historischen Entwicklung der Methode* (chronologisch geordnet)

- Ritz, W.: Über eine neue Methode zur Lösung gewisser Variationsprobleme der mathematischen Physik. J. Reine Angew. Math. 135 (1909) 1–61
- Courant, R.: Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibrations. Bull. Am. Math. Soc. 49 (1943) 1–23
- Reissner, E.: On a Variational Theorem in Elasticity. J. Math. Phys. 29 (1950) 90–95
- Reissner, E.: On a Variational Theorem for Finite Elastic Deformations. J. Math. Phys. 32 (1953) 129–135
- Langefors, B.: Analysis of Elastic Structures by Matrix Transformations. J. Aeron. Sci. 19 (1952) 451–458
- Argyris, J. H.: Energy Theorems and Structural Analysis. Part I. General Theory. Aircraft Engineering 26 (1954) 347–356
- Turner, M. J.; Clough, R. W.; Martin, H. C.; Topp, L. J.: Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures. J. Aeron. Sci. 23 (1956) 805–823, 854
- Argyris, J. H.: Die Matrizenmethode der Statik. Ing. Arch. 25 (1957) 174–194
- Clough, R. W.: The Finite Element in Plane Stress Analysis. Proc. 2nd. A.S.C.E. Conf. on Electronic Computation. Pittsburgh, Pa., Sept. 1960
- Schaefer, H.: Eine einfache Konstruktion von Koordinatenfunktionen für die numerische Lösung zweidimensionaler Randwertprobleme nach Raleigh/Ritz. Ing. Arch. 35 (1966) 73–81
- Withum, D.: Berechnung von Platten nach dem Ritzschen Verfahren mit Hilfe dreieckförmiger Maschennetze. Mitt. des Instituts für Statik der TH Hannover, Mitt.-Nr. 9, 1966
- Herrmann, L. R.: Finite Element Bending Analysis for Plates. J. Eng. Mech. Div. A.S.C.E. EM 5 (1967) 13–26
- Withum, D.: Elektronische Berechnung ebener und räumlicher Sicker- und Grundwasserströmungen durch beliebig berandete, inhomogene anisotrope Medien. Hannover 1967

- Tong, P.; Pian, T. H. H.: The Convergence of Finite Element Method in Solving Linear Elastic Problems. *Int. J. Solids Struct.* 3 (1967) 865–879
- Prager, W.: Variational Principles for Elastic Plates with Relaxed Continuity Requirements. *Int. J. Solids Struct.* 4 (1968) 837–844
- Arantes e Oliveira, E. R. de: Theoretical Foundations of the Finite Element Method. *Int. J. Solids Struct.* 4 (1968) 929–952
- Washizu, K.: *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*. Oxford: Pergamon Press 1968 (2nd ed. 1975)
- Prato, C. A.: Shell Finite Element Method via Reissner's Principle. *Int. J. Solids Struct.* 5 (1969) 1119–1133
- Connor, J.: Mixed Models for Plates. In: Tottenham, H.; Brebbia, C.; (Eds.): *Finite Element Techniques in Structural Mechanics*. Southampton: Southampton University Press 1970, p. 125–151
- Wunderlich, W.: Ein verallgemeinertes Variationsverfahren zur vollen und teilweisen Diskretisierung mehrdimensionaler Elastizitätsprobleme. *Ing. Arch.* 39 (1970) 230–247
- Bufler, H.; Stein, E.: Zur Plattenberechnung mittels finiter Elemente. *Ing. Arch.* 39 (1970) 248–260
- Zienkiewicz, O. C.: The Finite Element Method: From Intuition to Generality. *Appl. Mech. Rev.* 23 (1970) 249–256
- Meißner, U.: Berechnung von Schalen unter großen Verschiebungen und Verdrehungen bei kleinen Verzerrungen mit Hilfe finiter Dreieckselemente. *Diss. TU Hannover* 1971
- Oden, J. T.: *Finite Elements of Nonlinear Continua*. New York: McGraw-Hill 1972
- Buck, K. E.; Scharpf, D. W.; Stein, E.; Wunderlich, W. (Hrsg.): *Finite Elemente in der Statik*. Berlin: Ernst & Sohn 1973
- Pahl, P. J.; Stein, E.; Wunderlich, W. (Hrsg.): *Finite Elemente in der Baupraxis*. Berlin: Ernst & Sohn 1978
- Withum, D.; Holz, K.-P.; Meißner, U.: Finite Element Formulations for Tidal Wave Analysis. *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.* 17/18 (1979) 699–716

## Sachverzeichnis

- A-Posteriori-Fehler 7, 202ff.
- , h-Version 210f.
- , p-Version 208ff.
- Abbruchfehler 58ff., 197ff., 202, 204, 208, 210
- , Ordnung 61, 192, 200
- Algorithmus 25f.
  - nach Cholesky 108ff., 120
  - , Gaußscher 108ff., 120
- Ansatzfunktion 15, 18, 37, 46, 52ff., 61, 147, 168f., 192, 200f.
- , zulässige 42
- Anschluß, exzentrischer 221ff.
- Approximationsfehler 22, 202
- Approximationsmethode 12
- Arbeitsprinzip 13, 135ff.
- Arbeitsprozeß, interaktiver 4
- Arbeitssatz 66
- Auflagerbedingung 15, 101f., 106f., 118ff., 186, 190, 218
- Auflagerkraftgröße 64, 103, 118ff., 192
- Auflagervektor 104, 186
- Auflösung des Gleichungssystems 108ff.
- Ausführung 19
  
- Balken 36, 42
  - , Bernoulli-Balken 31f., 139
- Balkenelement 128, 151, 155
- Bandbreite 95, 188
  - , halbe 97, 100, 117
- Bandbreitenoptimierung 100
- Bandmatrix 101, 110
- Bandstruktur 95, 97, 111
- Baukastenprinzip 9, 133
- Belastung, fehlerhafte 45, 202
  - , vorgegebene 118
- Belastungsvektor 106, 190
- Benutzerschnittstelle 25
- Berechnungsablauf 127
- Betriebsmittel 23
- Bettung, elastische 21, 135ff.
  - , —, Steifigkeitsmatrix 148
- Bettungsmatrix 151
- Bezugssystem, globales 129, 215, 217, 219, 245, 247
  - , lokales 73, 129, 217, 219, 224, 244f., 251
  - , orthonormiertes 129, 218
  - , raumfestes 73, 225
- Biegebalken 31ff., 74, 185
  - , Differentialgleichung 32f.
  - , Steifigkeitsbeziehung 68, 75, 146ff., 155, 213
  - , Steifigkeitsmatrix 64ff., 68, 146ff., 151, 214
  - , Temperatur 180ff.
- Biegelinie 31, 35ff., 137
- Biegemoment 32f., 74, 139, 164, 178
  - , Abbruchfehler 61
  - , verbessertes 207ff.
- Biegestab 73ff., 213
  - , Übertragungsbeziehung 252ff.
- Bubnov/Galerkin, Verfahren 31, 37ff., 43, 46, 48
  
- Cholesky, Algorithmus 108ff., 120
  - , Dreieckszerlegung 109
  - , Verfahren 108ff.
- Computer Aided Design (CAD) 24
- Computer Aided Engineering (CAE) 4
  
- Datenschnittstelle 27f.
- Deformationsmethode 8, 13, 135, 194, 243, 250f., 255ff.
- Deformationsmodell 16ff., 35, 46, 52, 140, 198
  - , hybrides 16ff.
- Determinante 69, 107, 151, 170, 173, 253
- Differentialgleichung 12ff.
  - für den Biegebalken 32f.
  - für die Durchbiegung 35
- , Eulersche 21, 167
- , Fehler 51, 202
- , Residuum 38, 141
- Differentialoperator 13
- Differentiation 171f.
- Differenzenverfahren 2, 12
- Diskretisierung 12, 22, 61, 204
- Diskretisierungsmaß 200, 202, 208, 210
- Drehvektor 220, 223
- Drehwinkelverfahren 153
- Dreibein 218
- Dreiecksform der Matrix 113

- Dreiecksmatrix 108, 110f.  
 Dreieckszerlegung nach Cholesky 109  
 — nach Gauß 109  
 — der Koeffizientenmatrix 108f.  
 Durchbiegung, Abbruchfehler 61  
 —, Differentialgleichung 35  
 —, Verbesserung 209  
 Durchlaufträger 89ff., 103, 128ff.  
 Dynamik 1, 13  
  
 Eigenspannungszustand 183  
 Einheitsverschiebungszustand 65ff., 77ff., 85, 90ff., 97  
 Einsetzprobe 119  
 Einspeichern 92, 131, 188  
 Einspeicherprozeß 96  
 Einzelfeder 102ff.  
 Einzellast 31, 64, 105f., 136, 138  
 —, Lastvektor 186  
 —, virtuelle Arbeit 153  
 Einzelmoment 31, 35  
 Element 8  
 —, kompatibles 194  
 —, konformes 201  
 —, Verschiebungsvektor 188, 250f.  
 Elementart 10f.  
 Elementsteifigkeitsbeziehung 182, 243  
 Elementsteifigkeitsmatrix 72, 96, 131, 185f., 250ff.  
 Energie des Gesamtsystems 185  
 —, potentielle 161ff., 185  
 —, —, der äußeren Kräfte 193  
 —, —, der exakten Lösung 193  
 —, —, Funktional 170  
 —, —, der inneren Kräfte 193  
 —, —, Minimum 166  
 —, —, der Näherungslösung 193, 195  
 Energienorm 52, 196, 198f., 203, 205, 210  
 Entwurfsmodell 19, 23  
 Ersatzbelastung 154  
 Ersatzknotenlast für Temperaturbeanspruchung 180, 182  
 Ersatzlast 64, 179, 182  
 —, globaler Vektor 229, 233  
 Ersatzlastvektor 179, 182, 185f., 251f., 255  
 Erwärmung, adiabatische 176  
 Erweiterungsfähigkeit von Rechenprogrammen,  
 horizontale 28, 127  
 —, vertikale 27  
 Extremwert, notwendige Bedingung 163  
 Exzentrizität, starre 11, 222, 224, 240f.  
  
 Fachwerk 213  
 —, ebenes 226ff.  
 Federkonstante 105  
 Federkraftgröße 64, 103f., 118f., 186  
 Federsystem, eindimensionales 68  
  
 Federvektor 104  
 Fehler 31  
 — in der Differentialgleichung 51, 202  
 —, diskreter 60  
 —, lokaler 202  
 —, mittlerer 18, 52, 207f., 210  
 — der Querkräfte 47  
 — in den Schnittgrößen 32, 204  
 — in den statischen Randbedingungen 43, 202  
 — in der Streckenlast 32  
 — in den Übergangsbedingungen 202f.  
 —, verteilter 60  
 Fehlerabgleich 13, 22, 37, 42, 142f., 204  
 Fehlerabgleichsverfahren 12, 31ff., 38f., 53, 135, 145  
 Fehlerabgleichsvorschrift 48, 141f.  
 Fehlerabschätzung 7, 202  
 Fehlerausgleich (s. Fehlerabgleich)  
 Fehlerausgleichsverfahren (s. Fehlerabgleichsverfahren)  
 Fehlerfunktion 39, 46f., 192, 194f., 204f.  
 —, Minimum 51  
 Fehlergröße 204  
 Fehlerindikator 208  
 Fehlermaß 197ff., 203  
 Fehlerminimierung 61  
 Fehlerminimum, hinreichende Bedingung 48  
 —, notwendige Bedingung 48, 50  
 Fehlernorm 206  
 Fehlerordnung 61, 126, 192  
 Fehlerquadrat 49  
 —, Methode der kleinsten 46ff., 143, 195, 203  
 —, Minimum 48  
 Fehlerquadratmethode (s. Methode der kleinsten Fehlerquadrate)  
 Fehlerschranke 205f.  
 Feldgleichung, kinematische 14, 17, 34, 70, 77, 79, 140, 201  
 —, statische 13f., 17f., 33, 77, 79, 140  
 Festeinspanngröße 103, 154  
 Finite-Elemente-Stern 204, 207  
 Formänderungsarbeit 174  
 Formänderungsenergie 164, 175  
 —, spezifische 164  
 Formfunktion 55ff., 60, 147, 201  
 Freiheitsgrad, kinematischer 8, 16, 53  
 Freiwert 37, 45, 47  
 Frontlösmethode 100  
 Funktion, linear unabhängige 37  
 Funktional 163, 165  
 — für die potentielle Energie 170  
 —, Variation 165  
  
 Gauß, Dreieckszerlegung 109  
 Gaußscher Algorithmus 108ff., 120  
 Gelenkbeziehung 156  
 Gelenkmatrix 156

- Genauigkeitsverlust 35, 85, 126, 243, 256  
 Gesamtpotential 162  
 Gesamtsteifigkeitsmatrix 90 ff., 104, 118, 188 f.,  
 217  
 —, reduzierte 107  
 Gesamtsystem 101, 184, 194, 243, 256  
 —, Energie 185  
 —, Kraftvektor 90  
 —, Lastvektor 188  
 —, Steifigkeitsbeziehung 90, 183 ff.  
 —, Steifigkeitsmatrix (s. Gesamtsteifigkeits-  
 matrix)  
 —, Steifigkeitszahlen 90 f.  
 —, Verschiebungsvektor 89, 105, 116, 130, 186,  
 188, 215, 229  
 —, Zusammenbau 88 ff., 131, 217  
 Gesamttragwerk (s. Gesamtsystem)  
 Gewichtsfunktion 39  
 Gleichgewichtsbedingung 13, 18, 124, 143  
 Gleichgewichtsgruppe 93  
 Gleichgewichtszustand 95  
 Gleichung, konstitutive 14, 16 f., 33, 77, 79, 140  
 Gleichungssystem 101, 116, 190  
 —, algebraisches 39  
 —, Auflösung 108 ff.  
 —, reduziertes 107 f.  
 —, symmetrisches 108  
 Grundfunktion 163 f.  
 Grundsystem, raumfestes 218
- h-Version 197 ff., 202 f., 206, 208  
 —, A-Posteriori-Fehler 210 f.  
 Hauptsystem 55, 90
- Idealisierung 18 ff.  
 Idealisierungsschritte 19, 21  
 Informationssystem, integriertes 24  
 Informationsverarbeitung 23  
 Ingenieurbau, konstruktiver 2  
 Ingenieurinformatik 23  
 Inkompatibilität 9, 11 f.  
 Integritätsbedingung 14  
 Integration, partielle 47, 139, 141, 193  
 invariant 154, 201  
 Inzidenzmatrix 186, 236  
 ISDN 24
- Kinematen 8, 154 ff.  
 Knoten 8  
 Knotenbezugssystem 154, 218  
 —, globales 129, 213, 225  
 Knotenfreiheitsgrad 11, 55  
 Knotenkraftgröße, fiktive 124, 142, 239  
 Knotenkraftvektor 102  
 Knotennummerndifferenz 97, 100  
 Knotenverschiebungsgrößen 54
- Koeffizientenmatrix 26  
 —, Dreieckszerlegung 108 f.  
 —, reduzierte 190  
 —, Staffelung 109 ff., 117  
 —, symmetrische 109 f.  
 —, Zusammenbau 118, 188  
 Kommunikationstechnik 23  
 Kompatibilität 8, 144, 200 f.  
 Konvergenz 22, 46, 58, 200  
 —, energetische 197 f., 201  
 Konvergenzanforderung 200  
 Konvergenzbetrachtung 192 ff.  
 Konvergenzverhalten 58, 192  
 Koordinate, kartesische 56, 74  
 —, natürliche 55 f.  
 —, raumfeste 73  
 Kopplung 11 f., 21, 144  
 Kopplungsmatrix 223  
 Kraftgröße 9, 74, 118  
 —, fiktive 64, 85, 121 f., 135, 183, 204, 248,  
 251 f.,  
 Kraftgrößengruppe 67, 91 f.  
 Kraftgrößenverfahren 17 f., 65  
 Kraftvektor 64, 78, 80, 85, 118, 135 f., 154, 214  
 —, des Gesamtsystems 90  
 —, globaler 216, 226, 250 f.  
 —, modifizierter 157  
 — der Stabendschnittgrößen 64, 68, 78, 80  
 Kriechen 183
- Lageenergie 173  
 Lager 118 ff., 217  
 —, gefedertes 64  
 —, schräges 217  
 —, starres 64  
 Lagerbedingung (s. Auflagerbedingung)  
 Lagermatrix 190  
 Last, äußere 9, 165  
 —, —, virtuelle Arbeit 138, 146, 153, 161  
 —, konservative 165 f.  
 Lastgröße 13, 32  
 —, vorgegebene 33  
 Lastvektor 64, 102 f., 136, 147, 217, 250, 254  
 — der Einzellasten 186, 247  
 — des Gesamtsystems 188  
 —, globaler 239  
 —, lokaler 238, 246, 254  
 —, modifizierter 157, 159 f.  
 — der Streckenlast 153, 170, 233, 238  
 — aus Temperaturbeanspruchung 179, 181  
 linear unabhängig 201  
 Lösung, analytische 21 f., 35 f.  
 —, exakte 142  
 —, —, potentielle Energie 193

- Makroelement 87  
 Matrix, Boolesche 186, 189f.  
 —, orthogonale 219f.  
 Methode, gemischte 13  
 —, hybride 7, 13  
 — der kleinsten Fehlerquadrate 46 ff., 143, 195, 203  
 —, mathematische 2  
 Minimum 46f., 195  
 — der Fehlerfunktion 51  
 — des Fehlerquadrats 48  
 —, hinreichende Bedingung 50, 163  
 — der potentiellen Energie 166  
 — —, hinreichende Bedingung 166, 173, 185  
 — —, notwendige Bedingung 170, 185  
 — —, Prinzip 17, 135, 161 ff., 178, 195  
 Modell 15 ff.  
 —, gemischtes 13, 16 ff.  
 —, mathematisches 19, 21 f.  
 —, mechanisches 19 f.  
 —, numerisches 19, 22  
 —, physikalisch-statisches 19 f.  
  
 Nachlauf 202  
 Nachlaufprogramm 27  
 Näherungsansatz 37 ff., 141, 166 f., 203  
 Näherungsfunktion 15, 58, 124  
 Näherungslösung 9, 31, 60, 192 f.  
 — nach Bubnov/Galerkin 40  
 — nach der Fehlerquadratmethode 49  
 — höherer Ordnung 203  
 —, potentielle Energie 193  
 — nach Ritz 44  
 Näherungspolynom 126  
 Netzverdichtung 22, 196, 198, 201  
 Netzverfeinerung (s. Netzverdichtung)  
 Normalenhypothese 139  
 Normalkraft 168, 177  
 Normalkraftbeanspruchung 76  
  
 Orthogonalisierung 39  
 Orthogonalisierungsanforderung 39, 43  
 Orthogonalisierungsforderung 39  
  
 p-Version 199, 202 f., 206, 208  
 —, A-Posteriori-Fehler 208 ff.  
 Pendelstütze 128  
 Polynom 54, 199  
 —, Grad 10, 61, 199  
 —, Integrationsformel 57  
 Polynomansatz 208  
 Portabilität 25, 27  
 Postprozessor 4, 26 f.  
 Potential 162, 164 f.  
 — der äußeren Kräfte 162, 164 f., 168 ff.  
 — der inneren Kräfte 162, 168  
 Potentialeigenschaft 164  
  
 Potentialverlust 165, 173 ff.  
 Präprozessor 4, 25 f.  
 Prinzip von Hellinger-Reissner 17  
 — vom Minimum der Komplementärenergie 17  
 — vom Minimum der potentiellen Energie 135, 161 ff., 178, 195  
 — der virtuellen Verrückungen und Arbeiten 17, 135 ff., 166, 180, 184 f., 189  
 Programmierung, strukturierte 28  
 Programmschnittstelle 27  
 Programmsystem 24, 128  
 Prozeß, isentrop 175  
  
 Querbiegung 75  
 Querkraft 47, 139  
 —, Abbruchfehler 61  
 —, Fehler 47  
  
 Rahmen 213  
 —, ebener 230 ff.  
 Rahmenelement 231 ff.  
 Randbedingung 12 f., 15  
 —, fehlerhafte 45  
 —, geometrische 15, 34, 42, 53 f., 77, 79, 105 f., 140, 142 ff., 167, 194, 201  
 —, homogene 51  
 — für die Momente 35  
 —, natürliche 167  
 — für die Querkräfte 35  
 —, restliche 167  
 —, statische 15, 34, 77, 79, 85, 140, 143 ff., 167, 193, 248  
 —, —, Fehler 43, 202  
 —, wesentliche 167  
 Rangabfall 69  
 Reaktionskraft, virtuelle Arbeit 138, 154, 161  
 Reaktionskraftgröße 64, 135  
 Reaktionskraftvektor 103  
 Rechenkern 26  
 Rechenmittel 2  
 Rechenprogramm 23, 128  
 —, horizontale Erweiterungsfähigkeit 28, 127  
 —, vertikale Erweiterungsfähigkeit 27  
 rechte Seite 112, 192  
 —, Staffelung 113 f., 117  
 Reihenentwicklung 58 ff.  
 —, Taylor-Reihenentwicklung 58  
 relativ vollständig 200  
 Residuum der Differentialgleichung 38, 141  
 Restglied 58 ff.  
 — nach Lagrange 58  
 Ritz, Verfahren 6, 9, 31, 42 ff., 46, 48  
 Rückwärtselimination 114 f.  
  
 Schnittgröße 9, 18, 32 f., 74, 85, 121 ff., 182, 234  
 —, approximierte 32  
 —, Fehler in den Schnittgrößen 32, 204

- am Stabende 229, 239
- aus Temperaturbeanspruchung 178
- , Verbesserung 204
- , virtuelle Arbeit 138f., 142
- Schnittgrößenmatrix 125
- Schnittgrößenvektor 64, 85, 136
- Schnittstelle 3, 27f.
- Schnittufer 33
- Schranke, untere 195f.
- Schrankeneigenschaft 51, 195ff., 205f., 208
- Schubdeformation 139
- Schwinden 183
- semidefinit 170
- shape function 55
- Skyline 132
- Softwarewerkzeug 23
- Spaltenvektor 64, 68
- Spannungen 9, 18, 176, 201
- Spannungsfunktion 14
- Spannungsfunktionsmodell 16ff.
- Spannungsgröße 13ff.
- Spannungsmodell 13, 17f.
  - , hybrides 16ff.
- Spannungszustand, elementarer 45
  - , konstanter 201
- Spezialprogramm 24
- Stab, Biegestab (s. Biegestab)
  - , räumlicher 80f.
  - , —, Steifigkeitsbeziehung 81, 224ff.
  - , —, Steifigkeitsmatrix 83
  - , Torsionsstab (s. Torsionsstab)
  - , Zug-Druck-Stab (s. Zug-Druck-Stab)
- Stabengelenk 155
- Stabendkraft 78
  - , Kraftvektor 64, 68, 78, 80
- Stabendkraftgröße 80
- Stabendmoment 80
- Stabenschnittgröße 126
- Staffelung 109ff.
  - der Koeffizientenmatrix 109ff., 117
  - der rechten Seite 113f., 117
- Starrkörperbewegung 69f., 95, 107, 173, 201
- Steifigkeitsbeziehung 81, 104, 118, 121, 155ff., 179, 183ff., 203, 243f., 251f.
  - des Biegebalkens 68, 75, 146ff., 155, 213
  - , Elementsteifigkeitsbeziehung 182, 243
  - des Gesamtsystems 90, 183ff.
  - , globale 216, 224, 226, 233, 250
  - , lokale 224, 232, 236
  - des räumlichen Stabs 81, 224ff.
  - des Torsionsstabs 80
  - , aus dem Übertragungsverfahren 250ff.
  - , vollständige 146, 154
  - , des Zug-Druck-Stabs 78, 167ff., 214
- Steifigkeitsmatrix 27f., 64, 73, 81, 135, 148, 151, 169, 172, 255
  - des Biegebalkens 64ff., 75, 146ff., 151, 214
  - für die elastische Bettung 148
  - , Elementsteifigkeitsmatrix 72, 96, 151, 185f., 250ff.
  - des Gesamtsystems (s. Gesamtsteifigkeitsmatrix)
  - , globale 216, 226, 228f., 233, 239, 250, 252, 254
  - , lokale 224, 232, 237
  - , modifizierte 157f.
  - des räumlichen Stabs 83
  - des Torsionsstabs 80
  - des Zug-Druck-Stabs 80, 128, 214, 229
- Steifigkeitszahlen 64, 67, 95
  - des Gesamtsystems 90f.
- stetig 137, 201
- Streckenlast 31, 64, 136f., 151f., 167, 232, 238, 240
  - , approximierte 32
  - , Fehler 32
  - , Lastvektor 153, 170, 233, 238
- Struktur, reale 19f.
- Stützensenkung 105f., 190
- Symmetrie 68, 95, 172
  
- Taylor-Reihe 58, 162
- Temperatur am Biegebalken 180ff.
  - am Zug-Druck-Stab 178ff.
- Temperaturänderung 180
- Temperaturbeanspruchung 64, 136, 178ff.
  - , Ersatzknotenlast 180, 182
  - , Lastvektor 179, 181
- Temperaturdehnung 176
- Temperaturdifferenz 181ff.
- Temperaturverteilung 177, 179
- Tonti-Schema 13f.
- Torsionsstab 73, 78ff.
  - , Steifigkeitsbeziehung 88
  - , Steifigkeitsmatrix 80
- Trägerrost 213, 234ff.
- Tragwerksarten, kombinierte 128ff.
- Transformation 213ff.
  - , räumliche 217ff.
  - des Verschiebungsvektors 155, 217ff.
- Transformationsbeziehung 216, 219ff., 226, 228, 231, 236, 243, 247ff.
  - , vollständige 224
- Transformationsmatrix 219f., 224, 231, 236, 248
  
- Übergangsbedingung 12ff., 247
  - , Fehler 202
  - , geometrische 8, 17, 53f., 129, 145, 201, 247
  - , statische 17f., 145, 247
- Übertragungsbeziehung (s. Übertragungsgleichung)



- Übertragungsgleichung 243 ff.
  - am Gesamtstab 245, 247, 249
  - , globale 247
  - , lokale 245 ff.
  - , matrizielle 243 ff.
  - für den Stababschnitt 244 ff.
  - , Lastvektor 244 ff.
  - , — am Gesamtstab 249
  - , —, globaler 249
  - , —, lokaler 246
  - , — für den Stababschnitt 244 ff.
- Übertragungsmatrix 246 ff.
  - für den Gesamtstab 249
  - , globale 247
  - , lokale 246
  - für den Stababschnitt 246
- Übertragungsverfahren 86 f., 243 ff.
  - , Übergangsbedingung 247
  - , Zustandsvektor 244 ff.
  - , — des Biegeträgers 245, 247
  - , —, globaler 247, 249
  - , —, lokaler 244, 247 f.
- Variation 39, 163, 165 ff.
  - , erste 162 ff., 171 f.
  - des Funktionals 165
- Variationsfunktional 7, 161
- Variationsoperator 161
- Variationsprinzip 13
- Variationsrechnung 161 f., 165, 167
- Variationsverfahren 42
- Vektor der Auflagergrößen (s. Auflagervektor)
  - der Ersatzlasten (s. Ersatzlastvektor)
- Verbesserung der Durchbiegung 209
  - der Schnittgrößen 204
- Verbindung, starre 222
- Verdrehung, Abbruchfehler 61
- Verfahren von Bubnov/Galerkin 31, 37 ff., 43, 46, 48
  - von Cholesky (s. Algorithmus von Cholesky)
  - der kleinsten Fehlerquadrate (s. Methode der kleinsten Fehlerquadrate)
  - von Ritz 6, 9, 31, 42 ff., 46, 48
  - , Ritzsches (s. Verfahren von Ritz)
- Verschieblichkeit 70, 157
- Verschiebungsarbeit 137, 165
- Verschiebungsgröße (s. auch Durchbiegung)
  - 13 ff., 32, 60, 74, 140, 156, 200, 217 ff., 233
  - , approximierte 3
  - , exakte 31, 141, 200
  - , Fehler 32
  - , unbekannte 105 f., 190
  - , variierte 32
  - , vorgegebene 31, 106, 190
- Verschiebungsmodelle 13
- Verschiebungsvektor 64, 78, 80, 115, 135, 156, 214
  - des Elements 188, 250 f.
  - des Gesamtsystems 89, 105, 116, 130, 186, 188, 215, 229
  - , globaler 221, 225 f., 228, 230 f., 235
  - , lokaler 157, 221, 226, 228, 231, 233 ff.
  - , Transformation 155, 217 ff.
  - , virtueller 148, 154, 157
- Verträglichkeit, geometrische 215
- Verträglichkeitsbedingung, geometrische 14
  - , statische 14, 17
- Verzerrungsgröße 13 f.
- Verzerrungsmaß 139
- Verzerrungszustand, konstanter 201
- virtuelle Arbeit 137, 140, 142
  - der äußeren Kräfte 140, 216
  - der äußeren Lasten 138, 146, 153, 161
  - der Einzellast 153
  - der inneren Kräfte 139, 146, 148, 161, 184, 216
  - der Reaktionskräfte 138, 154, 161
  - der Schnittgrößen 138 f., 142
- virtuelle Verrückung 140, 142 ff., 148, 156, 190
- virtuelle Verrückungen und Arbeiten, Prinzip
  - 17, 135 ff., 166, 180, 184 f., 189
- virtueller Verschiebungsvektor 148, 154, 157
- Vordehnung 87
- Vorgang, reversibler 164
- Vorlaufprogramm 25
- Vorspannung 87
- Wärmeausdehnungskoeffizient 176
- Werkstoff 77
- Werkstoffgesetz 14, 18, 20, 124, 140
- Zug-Druck-Stab 73, 76 ff., 185
  - , Steifigkeitsbeziehung 78, 167 ff., 214
  - , Steifigkeitsmatrix 80, 128, 214, 229
  - , Temperatur 178 ff.
- Zusammenbau 88, 95, 101, 184 f., 188
  - des Gesamtsystems 88 ff., 131, 217
  - der Koeffizientenmatrix 118, 188
- Zustandsgröße 9, 32, 244, 250, 253, 256
- Zustandsvektor 244 ff.