

Lösungen der Übungsaufgaben

Auf der beigefügten CD-ROM sind ein paar Übungen als Auswahl zusammengestellt. Die Nummerierung bezieht sich auf die Ziffern des Textteiles. So kennzeichnet beispielsweise 7.1.16 die 16-te Übungsaufgabe zum Inhalt der Ziffer 7.1. Die Seitennummerierung ist gemäß A.x angegeben. Die meisten Aufgaben können "von Hand" ohne Hilfsmittel, d.h. unter Klausurbedingungen, gelöst werden. Sehr umfangreiche Übungen sind nur teilweise als Klausuraufgaben geeignet und werden zu diesem Zweck entsprechend modifiziert und gekürzt.

Einige Übungsaufgaben enthalten im Anschluss an die "zu Fuß-Rechnung" einen Computerausdruck. Hierbei wurde die Software "MAPLE V, Release 8" verwendet. MAPLE ist ein "*mathematisches Formelmanipulations-Programm*", mit dem interaktiv gearbeitet werden kann. Mit Hilfe solcher "Formelmanipulations-Systeme" (FMS) ist es möglich, Berechnungen mit unausgewerteten Ausdrücken (*Symbolen*) durchzuführen.

Die sogenannte *Computer-Algebra* ist in den letzten Jahren verstärkt entwickelt worden – MAPLE etwa seit Anfang der 80-er Jahre. Weitere Programme sind MATHCAD (basierend auf MAPLE), MATHEMATICA, MACSYMA, REDUCE und AXIOM, die ebenfalls sehr leistungsstark und anwenderfreundlich sind. Je nach Einsatzgebiet bietet das eine oder andere System mehr oder weniger Vorteile.

Die zusammengestellten Übungsaufgaben sollen den Vorlesungsstoff ergänzen und vertiefen. Es werden auch Übungen aus Aufgabengebieten angeboten, die im Textteil aus Platzgründen nicht behandelt werden konnten. So werden beispielsweise im ersten Band Aufgaben aus der *Wärmeübertragung*, *elektrische* und *hydraulische Netzwerke*, *Schwingungsaufgaben* etc. ausführlich durchgerechnet.

Weiterhin werden im ersten Band an Übungsbeispielen verschiedene Verfahren gegenübergestellt, z.B.: *Finite-Elemente-Methode* / *Finite-Differenzen-Methode* / *Lumped-Mass-Methode* / *Übertragungsmatrizenverfahren*.

Die Übungen des vorliegenden zweiten Bandes stellen einen Katalog der für die FEM grundlegenden *Variationsaufgaben* mit und ohne Nebenbedingungen zusammen. Anwendungen des *Prinzips vom Minimum des Gesamtpotentials*, des *Prinzips der virtuellen Verschiebungen* bzw. *Kräfte*, der *Sätze von Castigliano* werden ausführlich diskutiert. Näherungslösungen nach RITZ, GALERKIN (*gewichtete Residuen*) werden mit FE-Lösungen verglichen.

Ausführlicher als im ersten Band werden numerische Integrationen (Quadraturen) vorgeschlagen und an zahlreichen Beispielen diskutiert.

Behandelt werden **u.a.** *stationäre* und *instationäre*, *isotrope* und *anisotrope Wärmeleitung*, *Torsion von Stäben*. In diesem Zusammenhang werden gewöhnli-

che *lineare* und *nichtlineare Differentialgleichungen* sowie *partielle Differentialgleichungen* mit Hilfe der FEM behandelt. *Selbstadjungierte Operatoren* werden untersucht. Großer Wert wird auf Fehlerbetrachtungen gelegt.

Zum Kapitel 8 konnten aus Platzgründen keine Übungen aufgenommen werden. Im Textteil sind jedoch genügend Beispiele durchgerechnet und diskutiert, die *geometrische* und/oder *physikalische* bzw. *tensorielle Nichtlinearität* beinhalten. Darüber hinaus werden in einigen Übungen der vorausgegangenen Kapitel nichtlineare Probleme behandelt, so dass zum Thema "*Nichtlinearitäten*" als Einstieg für Studierende ein genügend umfangreicher Übungsstoff vorliegt.

Literaturverzeichnis

Hinsichtlich des Literaturverzeichnisses wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Im Folgenden werden lediglich einige Aufsätze und Bücher aufgeführt, denen der Verfasser Anregungen entnommen hat.

- ABRAMOWITZ, M. und E. STEGUN (1965). *Handbook of Mathematical Functions*. Dover Publications Inc., New York.
- ALTENBACH, J. und A. SACHAROV (1982). *Die Methode der finiten Elemente in der Festkörpermechanik*. Carl Hanser Verlag, München.
- ALTENBACH, J. und U. FISCHER (1991). *Finite-Elemente-Praxis*. Fachbuchverlag, Leipzig.
- ALTENBACH, H., ALTENBACH, J. und E. NAST (1992). Vergleichende Untersuchungen zur Modellierung und numerischen Berechnung mehrschichtiger Rotationsschalen. *Techn. Mechanik* **13**, 39-48.
- ARGYRIS, J. H. (1957). Die Matrizentheorie der Statik. *Ing. Arch.* **25**, 174-192.
- ARGYRIS, J. H. (1970). The impact of the digital computer on engineering sciences. *The Aeron. J. of the Roy. Aeron. Soc.* **74**, 13-41, 111-127.
- BATHE, K. J. and E. L. WILSON (1976). *Numerical methods in finite element analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- BATHE, K. J. (1986/1990). *Finite-Elemente-Methoden*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- BETTEN, J. (1968). *Spannungsfelder bei ebenem plastischen Fließen als Lösungen von Randwertaufgaben*. Dissertation, RWTH Aachen.
- BETTEN, J. (1971). Die Traglasttheorie der Statik als mathematisches Modell. *Schweizerische Bauzeitung* **91** (1973), 6-7, Habilitationsvortrag am 30.11.1971, RWTH Aachen.
- BETTEN, J. (1987). *Tensorrechnung für Ingenieure*. B. G. Teubner, Stuttgart.
- BETTEN, J. (1991). *Anwendungen von Tensorfunktionen in der Festkörper- und Fluidmechanik*. Gastvorlesung, herausgegeben von D.M. KLIMOV (Moskau) und A. DUDA (Berlin) in russischer Sprache in der Reihe "Uspekhy Mekhaniki", Moskau.
- BETTEN, J. (1992). Applications of Tensor Functions in Continuum Damage Mechanics. *International Journal of Damage Mechanics*, Vol. **1**, 47-59.
- BETTEN, J. (2001). *Kontinuumsmechanik*, (2. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/.../Tokio.
- BETTEN, J. (2002). *Creep Mechanics*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/.../Tokio.
- BETTEN, J. (2003). *Finite Elemente für Ingenieure 1*, (2. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/.../Tokio.

- BETTEN, J. und BUTTERS, T. (1990). Rotationsymmetrisches Kriechbeulen dünnwandiger Kreiszyinderschalen im primären Kriechbereich. *Forsch. Ingenieurwes.* **56**, 84-89.
- BETTEN, J. und SHIN, C.-H. (1991). Inelastisches Verhalten rotierender Scheiben unter Berücksichtigung der werkstoffbedingten Anisotropie und der tensoriellen Nichtlinearität. *Forsch. Ingenieurwes.* **57**, 137-147.
- BETTEN, J. und SHIN, C.-H. (1992). Inelastic Analysis of Plastic Compressible Materials using the Viscoplastic Model. *Int. J. of Plasticity* **8**, 977-985.
- BETTEN, J. und SHIN, C.-H. (1997). Plastic buckling analysis of a circular cylinder considering plastic compressibility. *Forsch. Ingenieurwes.* **83**, 177-181.
- BINGHAM, E. C. (1922). *Fluidity and Plasticity*. McGraw-Hill, NewYork.
- BRAESS, D. (1992). *Finite Elemente: Theorie, schnelle Löser und Anwendungen in der Elastizitätstheorie*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- BRENNER, S. C. (1994). *The Mathematical Theory of Finite Elements*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- BUCK, K. E., SCHARPF, D. W. STEIN, E. und WUNDERLICH W. (Herausg.) (1973). *Finite Elemente in der Statik, Einführung in die Methode* (Kolloquium in Stuttgart). Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
- CASTIGLIANO, A. (1879). *Theorie de l'équilibre de systemes elastiques et ses applications*. Turin. Engl. Übers. (1966). *The Theory of Equilibrium of Elastic Systems and its Applications*. Dover, New York.
- CHUNG, T.J. (1983). *Finite Elemente in der Strömungsmechanik*. Carl Hanser Verlag, München.
- CLOUGH, R. W. (1960). The finite element method in plane stress analysis. *Proceedings of 2nd ASCE Confeence on Electronic Computation*, Pittsburgh, Pa, 345-378.
- COLLATZ, L. (1964, 1968). *Funktionalanalysis und numerische Mathematik*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- COOK, R. D., MALKUS, D. S. and PLESHA (1989). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- COURANT, R. (1943). Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibration, *Bull. Am. Math. Soc.* **49**, 1-23.
- COURANT, R. und HILBERT, D. (1968). *Methoden der Mathematischen Physik I*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/NewYork.
- DAVIES, A. J. (1986). *The Finite Element Method*. Clarendon Press, Oxford.
- DESAI, C. S. and J. F. ABEL (1972). *Introduction to the Finite Element Method*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- DHATT, G. und TOUZOT, G. (1985). *The Finite Element Method Displayed*. John Wiley & Sons, Chichester/New York/.../Singapore.
- EDMINISTER, J. A. (1991). *Elektrische Netzwerke* (2. Aufl.). McGraw-Hill, London.
- ENGELN-MÜLLGES, G. (1996). *Numerik-Algorithmen* (8. Aufl.). VDI/Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/NewYork.
- ENGELN-MÜLLGES, G. und F. REUTER (1992). *Numerik-Algorithmen mit FORTRAN 77-Programmen*. Wissenschaftsverlag, Mannheim, 7. Auflage.
- FINLAYSON, B. A. (1972). *The Method of Weighted Residuals and Variational Principles*. Academic Press, New York.

- GALLAGHER, R. H. (1976). *Finite-Element-Analysis*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg
- GÖPFERT, A. und RIEDRICH, T. (1980). *Funktionalanalysis*. Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/Main.
- GOERING, H., ROOS, H. G. und L. TOBISKA (1993). *Finite-Element-Methode* (3.Aufl.). Akademie Verlag, Berlin.
- GROSS, D., HAUGER, W., SCHNELL, W. und WRIGGERS, P. (2002). *Technische Mechanik*, Band 4, (4. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- GURTIN, M. (1964). Variational principles for linear initial-value problems. *Quart. Appl. Math.* **22**, 252-256.
- GURTIN, M. (1969). Variational principles for linear elastodynamics. *Arch. Nat. Mech. Anal.* **16**, 34-50.
- HAHN, H. G. (1982). *Methode der finiten Elemente in der Festigkeitslehre* (2.Aufl.). Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden.
- HRENIKOFF, A. (1941). Solution of problems in elasticity by the framework method. *J. Appl. Mech.* **8**, A 169-175.
- HUEBNER, K. H. and E. A. THORNTON (1982). *The Finite Element Method for Engineers* (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York.
- IRONS, B.M. (1970). A Frontal Solution Program for Finite Element Analysis. *Int. J. Num. Meth. Eng.* **2**, 5-32
- KANTOROWITSCH, L.W. und W.I. KRYLOW (1956). *Näherungsmethoden der Höheren Analysis*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin.
- KNOTHE, K. und H. WESSELS (1999). *Finite Elemente* (3.Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- LUBLINER, J. (1990). *Plasticity Theory*. Macmillan Publishing Company, New York/London.
- LÖSCH, F. (1966). *Jahnke-Emde-Lösch / Tafeln Höherer Funktionen* (7. Aufl.). B.G. Teubner, Stuttgart.
- MC HENRY, D. (1943). A lattice analogy for the solution of plane stress problems. *J. Inst. Civ. Eng.* **21**, 59-82.
- MEISSNER, U. und A. MENZEL (1989). *Die Methode der finiten Elemente*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- MIKHLIN, S.C. (1964). *Variational Methods in Mathematical Physics*. Mac Millan, New York.
- MÖLLER, H. (1997). Finite Elemente in der Automobilentwicklung. *Spektrum der Wissenschaft*, März-Heft, 104-105.
- NEWMARK, N. M. (1959). A method for computation of structural dynamics. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.* **85**, EM3, 67-94.
- ODEN, J. T. (1972). *Finite elements of non-linear continua*. McGraw-Hill, New York.
- ODEN, J. T. and J. N. REDDY (1976). *An introduction to the mathematical theory of finite elements*. John Wiley and Sons, New York.
- ODQUIST, F.K.G (1966). *Mathematical Theory of Creep and Creep Rupture*. Oxford University Press.
- ODQUIST, F.K.G und J. HULT (1962). *Kriechfestigkeit metallischer Werkstoffe*. Springer-Verlag, Berlin.

- PESTEL, E. C. and F. A. LECKIE (1963). *Matrix Methods in Elastomechanics*. McGraw-Hill, London.
- PRZEMIENIECKI, J. S. (1968). *Theory of Matrix Structural Analysis*. Dover Publications, New York.
- RALSTON, A. (1965). *A First Course in Numerical Analysis*. McGraw-Hill Kogakusha, LTD, Tokyo/Düsseldorf/.../Sydney.
- RAMM, E., BURMEISTER, A., BISCHOFF, M. und K. MAUTE (1997). Schalentragwerke. *Spektrum der Wissenschaft*, März-Heft, 98-102.
- RANNACHER, R. und E. STEIN (1997). Finite Elemente: die Ideen. *Spektrum der Wissenschaft*, März-Heft, 90-98.
- REDDY, J. N. (1984). *An Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- RICHARDSON, L. F. (1910). The Approximate Arithmetical Solution by Finite Differences of Physical Problems Involving Differential Equations with an Application to the Stress in Masonry Dam. *Trans. Roy. Soc. Lond., Ser. A*, **210**, 307-357.
- RIENÄCKER, A. (1995). *Instationäre Elastohydrodynamik von Gleitlagern mit rauen Oberflächen und inverse Bestimmung der Warmkonturen*. Dissertation, RWTH Aachen.
- RIEG, F. und HACKENSCHMIDT, R. (2000). *Finite Elemente Analyse für Ingenieure*. Fachbuchverlag, Leipzig.
- SCHUMACHER, R. (1996). *Einsatz numerischer Methoden zur Simulation von Unformprozessen*. Dissertation, RWTH Aachen.
- SCHWARZ, H. R. (1986). *Numerische Mathematik*. B. G. Teubner, Stuttgart.
- SCHWARZ, H. R. (1991). *Methode der finiten Elemente* (3.Aufl.). B. G. Teubner, Stuttgart.
- SCHWEIZERHOF, K. (1997). Von der Kirchenkuppel bis zum Dampfbügeleisen: Anwendungsvielfalt kommerzieller FEM-Programme. *Spektrum der Wissenschaft*, März-Heft, 103-106.
- SEGERLIND, L. J. (1984). *Applied Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- SHIN, C.H. (1990). *Inelastisches Verhalten anisotroper Werkstoffe*. Dissertation, RWTH Aachen.
- SNEDDON, I. N. (1963). *Spezielle Funktionen der Mathematischen Physik und Chemie* (Mathematische Formelsammlung II). Bibliographisches Institut, Mannheim.
- STEIN, E. (ed.) (1993). *Progress on Computational Analysis of Inelastic Structures*. CISM Courses and Lectures No. 321, Springer-Verlag, Wien/New York.
- STUMMEL, F. und HAINER, K. (1982). *Praktische Mathematik*, (2. Aufl.). Teubner-Verlag, Stuttgart.
- SZABÓ, I. (1977). *Höhere Technische Mechanik* (5.Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- SZABÓ, I. (1984). *Einführung in die Technische Mechanik* (8.Aufl.). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- TIMOSHENKO, S. P. and J. N. GOODIER (1951). *Theory of Elasticity* (2nd ed.). McGraw-Hill, New York.

- TONTI, E. (1969). Variational formulation of non-linear differential equations. *Bull. Acad. Roy. Belg. (Classe Sci.)* **55**, 137-165 und 262-278.
- TREFFTZ, E. (1928). Ein Gegenstück zum RITZschen Verfahren. *Math. Ann.* **100**, 503-521.
- TURNER, M. J., CLOUGH, R. W., MARTIN, H. C. und L. J. TOPP (1956). Stiffness and deflection analysis of complex structures. *J. Aeron. Sciences* **23**, 805-823.
- VEINBERG, M. M. (1964). *Variational Methods for the Study of Nonlinear Operators*. Holden-Day.
- WALLER, H. und W. KRINGS (1975). *Matrizenmethoden in der Maschinen- und Bauwerksdynamik*. Bibliographisches Institut, Mannheim.
- WASHIZU, K. (1975). *Variational Methods in Elasticity and Plasticity* (2nd ed.). Pergamon Press, Oxford/NewYork/Braunschweig.
- YANG, T. Y. (1986). *Finite Element Structural Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- ZIENKIEWICZ, O. C. (1970). The finite element method-from intuition to generality. *Appl. Mech. Rev.* **23**, 249-256.
- ZIENKIEWICZ, O. C. and Y. K. CHEUNG (1967). *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*. McGraw-Hill, London.
- ZIENKIEWICZ, O. C. (1971). *The finite element method in engineering science*. McGraw-Hill, London. Deutsche Übersetzung (1975), Carl Hanser Verlag, München.
- ZIENKIEWICZ, O. C. (1977). A new look at the NEWMARK, HOUBOLT and other time stepping formulas. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **5**, 413-418.
- ZIENKIEWICZ, O. C. (1984). *Methode der finiten Elemente* (Studienausgabe) (2. Aufl.). Carl Hanser Verlag, München.
- ZIENKIEWICZ, O. C. und R. T. TAYLOR (1989/1991). *The Finite Element Method* (Band 1 und 2). McGraw-Hill, London.
- ŻYCZKOWSKI, M. (1981). *Combined Loadings in the Theory of Plasticity*. PWN-Polish Scientific Publishers, Warszawa.
- ŻYCZKOWSKI, M. (ed.) (1991). *Creep in Structures*. IUTAM-Symposium, Cracow 1990. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

Sachwortverzeichnis*)

A

Abbruchfehler 179, 281
Abbruchkriterium 247, 253f.
Abkühlungskurven A.172, A.174ff.
Abkühlvorgang 131
adaptive Vernetzungsalgorithmen 149
AIRYSche Spannungsfunktion A.33f.,
A.53
Aktivierungsenergie des Kriechens 238
Algorithmus von NEWMARK 287
anisotrope Wärmeleitung 135, 289
Anisotropie 12, 133, 135, 272
Approximationsmethode 122f., 145,
151
äquidistante Stützstellen 151
äquivalente Massenmatrix 46, 71,
A.237
Arbeitssatz 51
Argumentfunktion 1, 3, 5, 9
ARRHENIUS-Funktion 237
Austauschregel 84, A.18, A.40, A.51
axiomatische Theorie 43
assoziiertes viskoplastisches Fließen
275

B

BANACHScher Fixpunktsatz 249, 251
Bandlösmethode 278
Bandmatrix 76
Bandstruktur A.203
bedingte Extremwerte 14
Belastungsvektor A.76, A.89, A.100,
A.177, A.192, A.200f.
BESSEL-Funktionen 188, A.278
BESSELSche Differentialgleichung 142f.,
270, A.260f.
Beulen (*buckling*) 270

Bewegungsgleichungen 68, 70, 72,
A.78, A.82
Biegelinie 109, A.88, A.93
biharmonische Differentialgleichung 18
bikubische Formfunktionen 110, 193,
A.153, A.166
bilineare
-Formfunktionen 106, 110, A.135
-Transformation 201f.
Bipotential
-gleichung A.33f.
-operator 131
biquadratische Formfunktionen 110,
A.143
BOOLEsche Matrix A.75f.
Brachystochrone 11
Brechungsindex 12, A.10

C

CAUCHYSche Randbedingung A.35
CAUCHYScher Spannungstensor 35, 238,
A.51
Chi-Quadrat-Verteilung 188
CHOLESKY-Verfahren 237
CLENSHAW-CURTIS-Verfahren 150
collocation method 116, A.173
Computer-Algebra 289
constraint extremum 14
COURANT 8
creep-strength-differential-effect 279

D

D'ALEMBERTSche Zusatzkräfte 68, 72
DEBYESche Funktion 188
Deformationsgradient 273
Dehnsteifigkeit 268, A.54
Deltafunktion 118

*) Die Sachwörter auf der beigefügten CD-ROM sind mit einem A. vor der Seitenzahl gekennzeichnet.

- dickwandige Behälter, dünnwandige
Kreiszyinderschalen 279
- Differentialoperator 127, A.250, A.257
- diffusionsgesteuerter Vorgang 238
- Diffusionsgleichung 280
- Dilogarithmus nach EULER 188
- DIRACsche Deltafunktion 117f.
- direkte
- Methode 24, 28, 29, A.203
 - Zeitintegration 280ff.
 - Verfahren 259
- DIRICHLETSche Randbedingung A.35f.
- DIRICHLETSches Prinzip 61
- diskrete Systeme 1, 27, 24, 68
- diskretes Mehrmassensystem 67
- diskretisierte Formulierung 70
- diskretisiertes Funktional A.255
- Diskretisierung 144, A.109, A.112,
A.114, A.120, A.136, A.196
- Diskretisierungsfehler 149
- doppelt-exponentielles Verfahren 150
- Drehträgheit A.81
- Drei- und Vierpunkte-GAUSS-Quadratur
168
- Dreiachtelregel 153
- dreidimensionale Quadratur 220f.
- dreigliedriger RITZ-Ansatz 108, A.148,
A.160
- Dreipunkte-GAUSS-Quadratur 163
- Durchbiegungsfläche A.33
- dynamische Probleme 66, 281
- dynamische Zähigkeit A.75
- E**
- ebener
- Spannungszustand A.33
 - Verzerrungstensor A.34
- effektive
- Belastung 281f.
 - Steifigkeitsmatrix 281f.
- Eigenwerte 82f.
- Eigenwertproblem 82f.
- eindimensionale
- Interpolationsfunktionen A.143
 - POISSON-Gleichung 139
 - Wärmeleitung 138
- eingliedriger RITZ -Ansatz 85, 108, 110,
143, A.133, A.141, A.145, A.151,
A.153, A.274
- Einheitsdreieck 201, 217, A.118,
A.127, A.153f.
- Einheitselement A.155, A.270
- Einheitsquadrat A.134f., A.142f.,
A.149, A.161
- Einheitstetraeder 226, 230
- Einhüllende des FRESNELSchen Integrals
188
- Einschrittverfahren 245
- EINSTEINSche Summationsvereinbarung
15, 35, 40, 84, 238, 267, A.40
- einstufige Lastaufbringung 244
- Einzelement 66, 72, 132, A.76, A.153,
A.192
- elastische Formänderungsenergie 39f.,
48, 55ff., A.57
- elastisches Potential 39ff., 57, 60
- elastisches Kontinuum 54, 57, A.258
- Elastizitätstensor 40
- Elastohydrodynamik 239
- elasto-viskoplastische-Matrix 275
- elasto-viskoplastisches -Stoffgesetz 272
- elektrische Netzwerke 240
- elementare Biegetheorie 48, A.169f.
- elementare symmetrische Funktionen
163, 165f.
- Elemente
- vom LAGRANGE-Typ A.161
 - vom SERENDIPITY-Typ A.161
- Elementmatrizen 81, 102
- Elementsteifigkeitsmatrix A.204, A.231
- elliptische
- Differentialgleichung A.257
 - Integrale 188
- endliche Verzerrungen 239
- energie-äquivalente Knotenbelastung
A.93
- Energie
- formulierungen 23
 - integral 23
 - methode 66
 - norm 148
 - prinzip 23
 - satz A.3
- equilibrium configuration 26
- Ergänzungsarbeit 64, 85, 96f.
- Ersatzfunktion 122, 162
- erste Variation 19, 57ff., 64, A.273
- EUKLIDische Norm 145, 249, A.220

EULER-LAGRANGESche
 Differentialgleichung 142, A.262f.,
 A.272, A.275
 EULERSche
 -Darstellung 269
 -Differentialgleichung 7f., 10, 12,
 15ff., 20ff., 62, 64, 66, 68, 70, 85,
 113f., 129, 137, 139f., A.1,
 A.10ff., A.21f., A.24, A.31ff.,
 A.36, A.63, A.74, A.78, A.82,
 A.244, A.252, A.258f.
 -Konstante 188
 EULERScher
 -Satz A.20
 -Verzerrungstensor 239
 EULERSches
 -Differentialgleichungssystem 137
 -Polygonzugverfahren 245
 -Rückwärtsdifferenzenverfahren
 (implizites) 274
 -Verfahren 245
 -Vorwärtsdifferenzenverfahren
 (explizites) 274
 Extremale 3, 8, A.20
 Extremalprinzip 24, A.36

F

Fehler
 -abschätzungen 249f.
 -betrachtungen 144
 -matrix 160, 182
 -norm 122ff., 147, 150, A.123,
 A.194
 -relativer 120f., A.110f., A.116,
 A.120, A.123
 -term 152, 154f., 159f.
 -wahrer 119, 122, A.192
 finite Elemente höherer Ordnung A.234
 Finite-Differenzen-Methode 289
 finites
 -Balkenelement 53
 -Dreieckselement 97, 110
 -Stabelement 61, 271
 -Zeitelement 281, 283, 285
 Fixpunkt 248f., 251, 257
 -darstellung 258, 263
 -form 248
 -gleichung 249, 253f., 257
 -iteration 248ff., 257, 259, 260
 Flächenkoordinaten 100, 106, 107

Fließgelenkhypothese 43
 Fließgrenze 237
 Formänderungsenergiegedichte 39, 42, 51,
 71, A.54, A.74
 Formel von RODRIGUES 168
 Formfunktionen (shape functions) 9,
 46, 51, 100, 104, 108, 144, 275, 283,
 285, A.59, A.135, A.143, A.151,
 A.153, A.155, A.165, A.175, A.231,
 A.264
 -bikubische 110, 193, A.153, A.166
 -bilineare 106, 110, A.135
 -biquadratische 110, A.143
 -vom LAGRANGESchen Typ A.149
 Formfunktionsmatrix 98, A.77
 FOURIERSches Gesetz A.196
 freie Balkenschwingung 82
 FRESNELSches Integral 189
 Frontlöschungsmethode 278
 Fundamentallemma der
 Variationsrechnung 7ff., 10, 17, 20,
 38, 138, A.21, A.82
 Funktional 1ff., 9, 17ff., 66, 75, 79, 81,
 85, 88, 112ff., 137, 141ff., A.32,
 A.36, A.63, A.98, A.102f., A.133,
 A.245, A.252, A.2558, A.273
 Funktionalanalysis 127, 144

G

GALERKIN
 -Ansatz 134, A.275
 -Kriterium 129
 -Verfahren 73, 119, 123ff., 129ff.,
 284, 287, A.64, A.173, A.176,
 A.188, A.190, A.249ff., A.256f.,
 A.274
 GAUSS-LEGENDRE-Quadratur 150, 161,
 179, 182f., 185, 188ff., 192f., 204,
 209, 220ff., 224, A.124
 GAUSS-Punkte 161, 170, 178f., 190,
 193, 195, 197, 204, 211, 220ff., 231
 GAUSSSche Transformation A.220
 GAUSSScher Integralsatz 37, 59, A.51f.,
 A.82
 GAUSSSches
 -Ausgleichsprinzip 116, A.171,
 A.220
 -Eliminationsverfahren 237
 -Fehlerintegral 183
 gedämpftes NEWTON-Verfahren 247

generalisierte
 -Knotenkräfte 41, 47, 48
 -virtuelle Verschiebung 41
 geometrische
 -Nichtlinearität 239, 267, 269,
 271ff., 279
 -Randbedingungen (erzwungene) 62
 -Steifigkeitsmatrix A.59
 Gesamtpotential 24, 29, 58, 60f., 67, 69,
 73, 75, 113, 268, A.38, A.46, A.61,
 A.70f., A.75f., A.79, A.86
 Gesamtpotential eines Balkenelementes
 66
 Gesamtsteifigkeitsmatrix 81, 102, A94,
 A.100, A.174
 gewichtete Residuen 23, 112, 131f.,
 283, A.64, A.249
 Gleichgewichts
 -bedingung 23, 33, 40, 45, 54, 65,
 A.28, A.43, A.52, A.170
 -gruppe 35
 -lage (equilibrium configuration) 26
 -zustand 59
 gleichmäßige Konvergenz 74
 Gleitlinientheorie 149
 globaler Belastungsvektor 66, A.75,
 A.77
 globale Koordinaten A.204, A230ff.,
 A.236, A.242
 globaler Lastvektor A.94
 GOODIER 87
 GREENSche Formel 19, 130f., A.34,
 A.256
 GULDINSche Regel A.24

H

HAMILTON-CAYLEYSches Theorem 238
 HAMILTONSches Prinzip 23, 66ff., 70,
 72, 287, 369
 harmonische Schwingungen A.34,
 A.37, A.171
 Hauptachsentransformation 14
 HEAVISIDESche Sprungfunktion 117
 HELLINGER-REISSNER-Prinzip 64, 65
 HELMHOLTZ-Gleichung 22, A.36f.
 HERMITE-Eigenschaft 146
 HERMITESche
 -Interpolation 46, 76, 156, A.59,
 A.63, A.76, A.93, A.102
 -Formfunktionen A.88

HILBERT-Raum 8, 127, 146
 h-Methode 149f., A.134
 HOOKESches Gesetz 40, 56, A.170
 hydrodynamische Schmierungstheorie
 A.75
 hyperbolischer
 -Integralkosinus 189
 -Integralsinus 189
 Hysteresis Schleifen, 237

I

implizites Zentraldifferenzenverfahren
 274
 Impulsfunktion 117
 Indeschreibweise 29, 37, 84, 272,
 A.40
 inelastisches Verhalten anisotroper
 Werkstoffe 272
 inkrementelle
 -Form 269
 -Finite-Elemente-Gleichungen 278
 -Methode A.192
 -Pseudolast 278
 -Steifigkeitsmatrix A.59
 inkrementelles
 -Verfahren 245, 248, 279
 -Verfahren mit NEWTON-RAPHSON-
 Korrektur 246
 innere virtuelle
 -Arbeit 37, 38, 40, 148
 -Ergänzungsarbeit 40
 innere Wärmequellen A.196
 inneres Potential 57
 Instabilität des Verfahrens 150
 instationäre Wärmeleitung 280
 integrale Formulierungen
 numerischer Lösungen 112
 Integral
 -kosinus 189
 -logarithmus 189
 -sinus 185, 187, 189
 Integritätsbasis 166, A.20
 Interpolations
 -bedingungen 168
 -eigenschaften 126, 151
 -funktionen 77, 80, 125
 inverse
 -Steifigkeitsmatrix 258f.
 -Tangentenmatrix 259

isoparametrische Formulierung 276, 281
 isoperimetrische Probleme 14f., A.20,
 A.22
 isotroper Tensor A.20
 Iterationsvorschrift 257f., 260,
 iterative Lösungsmethoden 237, 241,
 252, A.192

J

JACOBIsche
 -Matrix 260, 263, 265
 -Determinante 228, A.103, A.117,
 A.121, A.127, A.135, A.141,
 A.144, A.146, A.149, A.153,
 A.166

K

KELVIN-Körper 237
 Kettenlinie A.2, A.25ff.
 kinetische Energie 67, 68, 71, A.79f.
 KIRCHHOFFSche Plattentheorie A.33
 klassischer (infinitesimaler)
 Verzerrungstensor 35, 239, 267, 276
 klassisches
 -RITZ-Verfahren 77, 110, A.134
 -GALERKIN-Verfahren A.187
 Knicklast 55, A.61, A.64, A.66f.
 Knickprobleme 55, 82, 270, A.63
 Knoten
 -kräfte 270
 -punkte 103, 125, 132, A.112,
 A.117, A.200, A.230
 -punkte (globale) 102, A.139
 -punkte (lokale) 96, 102, 104
 -punktlastvektor 277
 -variable 28, 104, 107, A.96, A.114,
 A.175
 -verschiebungen 270, A.77
 -werte 80, 126, 132, 283, A.96,
 A.101, A.107, A.110ff., A.118ff.,
 A.128, A.188, A.200
 Kollaps A.61
 Kollokations
 -punkte 116ff., 134, 156, 179, A.64,
 A.173, A.194
 -verfahren 117, 124, 134, A.195,
 A.252
 Kompatibilitätsbedingung A57, A.75
 komplementäres Potential. 64f.

konjugierte Variable 36
 konservatives System. 67
 konsistente Massenmatrix A.78
 Kontaktproblem 239
 kontinuierliche Systeme 1, 29, 68
 Kontinuum 34, 147
 Kontinuumsmechanik 1, 23, 68, 73
 Konvektionskoeffizient 136
 Konvergenz 74, 144, 147ff., 251, 278
 -betrachtungen 247
 -geschwindigkeit 243f., 247, 251, 263
 -im Mittel 74, 145
 -ordnung 251
 -sätze 145
 -verhalten 251, A.196
 körperbezogene Koordinaten 273, 267
 Korrektur
 -faktor A.167ff.
 -glied 170
 -vektor 250
 korrigierte Lastschrittverfahren 246
 Kraftvektor 98, 100, 102, 130, A.108,
 A.135f., A.147, A.150, A.144, A.156
 Kriechen. 237f., 272
 Kriechgesetz 238
 kubische
 -Elemente 82, 134
 -Formfunktionen 45, 110, 112, 132,
 406, A.153f., A.163ff.
 Kugelfunktionen 168

L

L_2 -Fehlernorm 145ff., 151, 211, 217,
 A.196
 LAGRANGESche
 -Bedingung 7
 -Betrachtungsweise 269
 -Funktion 67f., 70ff., A.77
 -Grundpolynome 151
 -Klasse A.135
 -Koordinaten 272
 -Multiplikatorenmethode 13ff., 58,
 A.20f., A.23, A.25, A.50
 -Polynome 161, 164, 168
 LAGRANGEScher
 -Multiplikator 14f., 58, A.17, A.21,
 A.26, A.50, A.71
 -Typ 108, 110, A.143, A.166
 -Verzerrungstensor 267f., 272f.

LAGUERRESche Differentialgleichung
143, A.262

LAPLACE
-Gleichung 18, 22, A.37
-Operator 130

LAPLACESche Differentialgleichung
A.32, A.37

Last
-inkremente 245
-korrektur 246
-schritte 248
-stufe 244
-vektor 237, A.93, A.95, A.204,
A.232

least squares method 119, 123f., A.175

LEBESGUEScher Integralbegriff 144

LEGENDRE 7

LEGENDRE-Polynome 167ff., 171, 173

LEGENDRESche Differentialgleichung
142, A.261

linear-elastisches Verhalten 268

lineare
-Ansatzfunktionen 132
-Dehnung (Nenndehnung) 269
-Dreieckselemente 100, 106, 129,
A.108, A.142
-Elemente 82, 135, A.116, A.234
-Formfunktionen 281, 285, 287,
A.134, A.231, A.239
-Gleichungssysteme 260
-Matrizengleichung 243
-Transformation A.117, A.121,
A.127, A.135, A.230f., A.237
-Vektorabbildung 35

linearisierte Näherung 250

linear-viskoelastisch 237

LIPPSCHITZ
-Bedingung 249
-Konstante 249, 257, 262f., 266

load imbalance 243, 244, 246

Lösungsfunktion 3, 5, 18, 21, 75

Lösungsvektor 248, 252, 271, A.140,
A.147, A.155, A.167

Lumped-Mass-Methode 72, 289

M

Massen
-belegung A.81
-kräfte 34
-matrix 82, 150, A.231

-trägheitsmoment A.80

master triangular element 408

Master-Quadrat 190, 193, 201, 217,
A.135, A.142

Master-Würfel 220ff. 226, 231

materielle Zeitableitung des
LAGRANGESchen Verzerrungstensors
273f.

Matrixgleichung A.41

Matrix-Steifigkeitsmethode 1

Matrizenschreibweise 29, A38

mehraxiales Stoffgesetz 272

Mehrfachintegral 18

Mehrstellenverfahren 282

Membran A.37

Membrangleichnis 86, 106, A.74, A.109

Methode der
-zentralen Differenzen 282
-gewichteten Residuen A.64
-kleinsten Fehlerquadrate 1, 287f.,
A.220
-sukzessiven Approximation 253

Methode von NEWTON-RAPHSON 247

Minimum des Gesamtpotentials 31

MISESSche Vergleichsspannung 239

Mittelwert
-betrachtung 23
-satz 281, 283

mittlere quadratische Abweichung 145

Modalanalyse 280

modifiziertes
-Funktional A.273f.
-NEWTON-RAPHSON-Verfahren 244,
247
-Potential 58, A.70f.
-RALEIGH-RITZ-Verfahren 24

Monome 220

N

Nachbarfunktion 3, 5, 10, A.20

Näherungs
-ansatz 125, 129f., A.134, A.188,
A.200
-fehler 125
-kurve A.233, A.236, A.239, A.242
-lösung 125

natürliche
-Dreieckskoordinaten 100, 106
-Koordinaten 283

-Randbedingung 7, 20, 62f., 72, 75,
126, A.35f., A.73, A.82, A.273
Nebenbedingung 13, 15f., 58, A.22,
Netz
-generierung 108, A.142
-verfeinerung 149
Netzwerkgleichungen 240
NEWMARK 287
NEWTON-COTES-Faktoren 152
NEWTON-COTES-Quadratur 150f., 154,
156, 161, 178f., 182
NEWTON-RAPHSON-Verfahren 243,
246f., 250f., 259f., 263, 267
NEWTONsche Fluide 237
nichtlineare
-Einzelfeder 245
-Federelemente 252
-Federsysteme 259
-Gleichungen 247ff., 250, 252, 259,
271
-Kennlinie 240
-Matrixgleichung 134, A.202
-Probleme 237, 247, 252f., 257, 259,
283, A.192
-Randwertaufgabe 133
Nichtlinearität 237, 239f., 290, A.192
-geometrische 267, 269, 271, 279
-physikalische 237
-tensorielle 239, 272, 279, 290
-strukturelle 237
NORTON-BAILEYSches Kriechgesetz 238
numerische Zeitintegration 273

O
Oberflächenkräfte 34
objektiver Tensor 273
Operatoren selbstadjungierte 135
optimale Kollokationspunkte 123ff.,
A.173, A.252
optisch inhomogenes Medium 11
orthogonale Polynome 169
orthonormierte Matrix A.19
orthonormiertes System 146f.
Orthonormierungsbedingung A.19

P
PASCALSches Dreieck 74
Pilgerschritt-Verfahren 247

plastic buckling 270
plastische Instabilität 270
Plastizität 272
Plastomechanik 43
Plattensteifigkeit A.33
p-Methode 149, A.134
POISSON-Gleichung 22, 130, 139, A.37
POISSONSche Differentialgleichung 18,
77, 84f., 125, 127, 129f., A.32, A.37,
A.74, A.104f., A.133, A.136, A.169,
A.171, A.274
polares Flächenträgheitsmoment 87,
109, 112, A.167f.
post buckling A65
Potential der äußeren Kräfte 57
Potentialkräfte A.40
Prinzip der
-materiellen Objektivität 273
-stationären Wirkung 67
-virtuellen Arbeit 1, 29, 33, 35ff., 41,
56, 272
-virtuellen Ergänzungsarbeit 36, 42
-virtuellen Kräfte 36, 40
-virtuellen Verschiebung 1, 23, 32,
37f., 43, 69, 72, 289, A.52
Prinzip des kürzesten Lichtweges A.10

Prinzip vom
-Minimum der Ergänzungsarbeit 64
-Minimum des Gesamtpotentials
23f., 29f., 56, 61f., 64ff., 77, 289,
A.47, A.86
-stationären Wert des
Gesamtpotentials 26f., 58f.

Prinzip von
-FERMAT 11, A.10
-REISSNER 64
-TORRICELLI A.24
Pseudo-Viskoplastizitätstensor 274
Punktmechanik, Starrkörpermechanik
68

Q
quadratisch integrierbare Funktionen
144
quadratische
-Ansatzfunktionen 132, A.176f.,
A.188
-finite Elemente 82, 134f., A.234

-Formfunktionen 110f., 143, 285,
A.118, A.155ff., A.237, A.239,
A.264, A.268, A.270, A.275

-Formfunktionen vom SERENDIPITY-
Typ A.162

Quadratur
-fehler 176
-formel 150, 178

Quadraturformel nach NEWTON-COTES
152

Querkrafteinfluss 48

Querschnittsverwölbung 87

Quetschströmung A.75

R

Randbedingungen 7, 40, 65, 136, A.22,
A.25, A.52

-CAUCHYSche A.35

-DIRICHLETSche A.35f.

-geometrische (erzwungene) 7, 62

-homogene 3, 79, A.134, A.155

-inhomogene 74, A.186

-natürliche 7, 20, 63, A.35f., A.73,
A.273

-statische 63, A.73

-wesentliche 7

raumbezogene Koordinaten 267, 273

RAYLEIGH-RITZ-Verfahren 23, 73, 82,
112, A.12

RAYLEIGHscher Quotient 83f., A.62f

Rechteckelemente A.134

reduzierte
-Form 271

-Gesamtsteifigkeitsmatrix A.140

-Gleichungssysteme A.111, A.114,
A.205

-Matrixgleichung 252, A.205, A.210

Referenz
-element A.270

-konfiguration 267, 269f.

-lösungen 149

Rekursionsbeziehung 284

Rekursionsformel 245, 280, 286, 288

Rekursionsschema 281ff., 287

relative
-Fehler 120f., A.110, A.112, A.116,
A.120, A.123

-Fehlermatrix 160, 182

-Streckung 268f.

relatives Minimum A.263, A.273

repositioning 149

Residuenvektor 258, A.220

Residuum 79, 86, 115f., 119, 125, 129,
257, 259, 287f., A.63f., A.171,
A.173, A.175f., A.186, A.188, A.194,
A.200, A.249, A.256

REYNOLDSche Differentialgleichung
240

REYNOLDS-POISSON-
Differentialgleichung 365

Richtungskosinus 130

RIEMANNsches Integral 144

RITZ-Ansatz 1, 73ff., 82, 85, 87, 107ff.,
125, 129, 143, A.86ff., A.97, A.99,
A.134, A.137, A.142, A.153, A.186,
A.229, A.250, A.263, A.265, A.275,
A.277

-eingliedriger 85, 108, 110, 143,
A.133, A.141, A.145, A.151, A.153,
A.274

-zweigliedriger A.245, A.249, A.266,
A.275

-dreigliedriger 108, A.148, A.160

RITZ-Koeffizienten 74, 82

r-Methode 149f., A.134

Rohrströmungen 240

rotatorische Trägheit A.81

S

SATZ VON
-ENGESSER 42

-EULER A.20

-MENABREA 42, A.57

Sätze von CASTIGLIANO 41ff., 54, 56,
289, A.55f., A.58

Schrankenmethode 43

SCHWARZsche Ungleichung 146

Schwingungsprobleme 82, 289

selbstadjungiert 127ff., 137, 141, A.254

selbstadjungierte
-Differentialgleichung A.259

-Form 141f., 145, A.244, A.258,
A.260, A.275

-Operatoren 127, 130, 137, 290,
A.274

Selbstdiffusion 238

SERENDIPITY-Typ 108, 111f., A.134f.

shape functions 41, 80, 132, 149, 281,
A.59, A.134, A.188, A.192, A.200ff.,
A.206, A.208, A.239, A.255f.

SIMPSON-Regel 153
 singuläre Spannungen 147
 Spannungs
 -deviator 238
 -feld 147
 -geschwindigkeiten 273
 -inkremente 273, 278
 -tensor 23
 spezifische
 -Ergänzungsarbeit 42
 -Ergiebigkeit der Wärmequellen 133, 135
 -Wärme 133, 135
 spezifischer Wärmestrom 133, A.196
 spezifisches elastisches Potential 39f., 57
 Stabelement 85, 267, A.71, A.231
 stabiles Werkstoffverhalten 272
 Stabilitätsprobleme 270, 273, 281
 -der Kriechmechanik (creep buckling) 270
 Starrkörperbewegung 268
 Startvektor / Startwert 248ff.
 stationäre anisotrope Wärmeleitung 22, A.36
 stationäre Wärmeleitung 133, A.196
 statisch äquivalente Knotenbelastung A.93
 Steifigkeits
 -anforderungen A.229
 -beziehung 29, 53, 56, A.66
 -koeffizient 241
 -matrix 23, 28, 45, 47, 49, 51, 54, 56, 77, 82, 97, 99, 101, 130, 148, 150, 156f., 160, 179, 181f., 237, 241, 258, 271, A.76, A.78, A.89, A.93, A.108, A.114, A.119, A.121, A.135, A.139, A.147, A.156, A.177, A.192, A.202, A.213
 Stoff
 -gesetz 38, 148
 -gleichungen 65
 -matrix 148
 Störfunktion A.215
 strain energy 24, 39, 55, 57
 Strukturdynamik 1
 Strukturmechanik 1, 73
 Stützstellen 161f., 176, 282, A.96
 subdomain method 115, A.172, A.190, A.243

T

Tangenten
 -matrix 243ff., 250, 259
 -steifigkeit 242
 -steifigkeitsmatrix 243, 245, 248, 278
 -steifigkeitszahl 243
 TAYLOR-Entwicklung 6, 250, 259, 274, 277
 TAYLOR-Reihe 8, 9, 60, 242
 Tensor
 -notation 84
 -polynom 238
 -quadrik 15, A.18
 -rechnung 14
 Tensor der Wärmeleitzahlen 135
 tensorielle Linearität 239,
 tensorielle Nichtlinearität 238f., 272, 279, 290
 Testfunktionen 78, 83, A.187
 Theorie endlicher Verzerrungen 239
 Theorie zweiter Ordnung 239
 TIMOSHENKO 87
 tordierter Querschnitt 18, A.149
 Torsion von Stäben 289
 Torsions
 -funktion 85ff., 95, 97f., 103f., 106, 110, A.37, A.106, A.113, A.117, A.120, A.122, A.128f., A.136, A.144f., A.151, A.154, A.159, A.162f., A.165, A.169
 -moment 86f., 92, 106, 108, 110f., 200, A.109, A.113f., A.116, A.120, A.129, A.137, A.141, A.145, A.149, A.151, A.153, A.155, A.160, A.165, A.167, A.170
 -problem 85, 96, 100, A.114
 -stab 86, 90
 -trägheitsmoment A.169
 traction vector 35
 Trägheits
 -kraft 68, A.37
 -term 281
 Traglasttheorie 43
 Transformationsmatrix A.19
 transiente Feldprobleme 280
 TREFFTZ 75
 trial functions A.187

trilineare Transformation 220, 226, 228, 231
 TSCHEBYSCHEFFSche
 Differentialgleichung 143, A.261
 turbulenter Fall 240

U

überbestimmte Kollokation A.221
 überbestimmtes Gleichungssystem 116, A.171
 Übertragungsmatrix 289, A.81

V

Variation 4f., 60f., A.251
 Variations
 -aufgabe 7f., 10, 12f., 17, 58, 78, 129, 139, 141, 289, A.1, A.3, A.13, A.31
 -formulierung A.12
 -funktional 137ff., A.244
 -methode 1, 29, 68, 112ff., 121, 123f., 127, 130, 136, A.252, A.274
 -operator A.34
 -parameter 5
 -prinzip 24, 73, 128f., 131, 137
 -rechnung 1, 2, 10, 287
 Vektor-Fehlernorm 249, 254
 Vektorfolge 249, 251
 verallgemeinerte Knotenverschiebungen 45
 verallgemeinerte Polarkoordinaten A.166
 Verfahren der
 -gewichteten Residuen 73, 115, 117, 284, 287, A.171, A.186
 -Kollokation in Teilbereichen A.190
 -punktweisen Kollokation 117
 Verfahren des gewichteten Restes 1
 Vergleichsfunktion 4, 78
 Verschiebungs
 -ansätze (linear, quadratisch, kubisch) 41, 71, 267, 275, 278
 -feld 147
 -funktion A.59
 -inkremente 245, 278
 -vektor 23, 272, A.95
 Verträglichkeits
 -bedingungen 35, 40
 -gruppe 35

Verwölbung 109
 Verwölbungsfunktion 109, A.171
 Verzerrungs
 -energie (strain energy) 24f., A.38, A.45
 -feld 147
 -geschwindigkeitstensor 238, 273
 -tensor 23
 Vierpunkte-GAUSS-Quadratur 165
 virtuelle
 -Ergänzungsarbeit A.53
 -Kräfte 42, A.52
 -Nachbarkurven 67
 -Spannungen A.52
 -Verdrehungen 41
 -Verschiebungen 32, 35, 67, A.51, A.82
 -Verschiebungsvektoren 41, A.51
 -Verzerrungen 36
 -Verzerrungsarbeit 38
 -Ergänzungsarbeit 64
 viskoplastische Verzerrungsinkremente 274
 viskoplastisches
 -Stoffgesetz 272
 -Fließen 272
 -Modell 272
 vollständige Polynome 74ff.
 Volumenkräfte (Massenkräfte) 34f., 68, A.170

W

wahrer Fehler 122, A.192
 wahrer relativer Fehler 119
 Wärme
 -leitfähigkeit 133
 -leitung 136
 -leitungsproblem 237
 -leitzahl 133, 135, 237, A.36
 -quelle A.36
 -übertragung 289
 WEBERSche Funktion A.278
 werkstoffbedingte Anisotropie, 279
 Wichtungs
 -faktoren 161f., 165, 168, 171, 190, 193, 220ff., 225, 231
 -funktionen 115, 117ff., 125, 172, 176, 287, A.64, A.171ff., A.187f., A.190, A.222, A.229, A.249, A.256

Wirkungsintegral 67
Wurzelsatz von VIETA 166

Z

zeitabhängige Probleme 237, 272, 280,
287
Zeitableitung 280, 282
Zeitdiskretisierung 132
Zeitintegrationsverfahren 273f., 279
zeitlicher Temperaturverlauf 131
Zeitschrittverfahren 281, 283
Zeitunabhängige Probleme 237
zentraler Differenzenquotient 282
Zwangsbedingung A.36
zweidimensionale Probleme der
-instationären Wärmeleitung 136
-Quadraturen 190
-stationären Wärmeleitung 135
zweigliedriger RITZ-Ansatz A.245,
A.249, A.266, A.275
zweite Variation 60f.
zweiter PIOLA-KIRCHHOFF-
Spannungsgeschwindigkeitstensor
273f.
Zykloide 298f.

Druck: Strauss GmbH, Mörlenbach
Verarbeitung: Schäffer, Grünstadt