

Verwendete Formelzeichen und Symbole

Den Formelzeichen und Symbolen ist jeweils eine Dimension im technischen Maßsystem zugeordnet. Es treten dabei die Grundgrößen Länge $[L]$, Zeit $[T]$ und Kraft $[F]$ auf. Bei den Formelzeichen, deren Dimension problemabhängig ist, ist ein Stern aufgeführt. Haben die Elemente eines Vektors oder einer Matrix unterschiedliche Dimensionen, so werden diese getrennt durch ein Semikolon aufgeführt.

⊗ Allgemein verwendete Symbole

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
$\begin{bmatrix} - \\ - \end{bmatrix}$	*	Vektor
$\begin{bmatrix} & \\ + & + \\ & \end{bmatrix}$	*	Matrix
(n, m)	–	Größe einer Matrix mit n Zeilen und m Spalten
(u_i, v_j)	–	Element einer Steifigkeitsmatrix aus der Zeile u_i und Spalte v_j
\textcircled{i}	–	Elementnummer i
\boxed{j}	–	Knotennummer j
C^m	–	C^m -Variationsproblem
\cdot	–	Skalarprodukt
\forall	–	für alle
$:$	–	doppelt skalares Produkt
\times	–	Kreuzprodukt
∇	$\frac{1}{L}$	Nabla-Operator in kartesischen Koordinaten

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
∇T	*	Vektorfeld
$\nabla \vec{u}$	*	dyadisches Feld
∇_{Δ}	–	Nabla-Operator in Dreieckskoordinaten
Δ	$\frac{1}{L^2}$	Laplace-Operator
$\vec{\Delta}$	$\frac{1}{L^2}$	Vektor mit zweiten Ableitungen in kartesischen Koordinaten
Δ_{Δ}	–	Hessematrix in Dreieckskoordinaten
$\vec{\Delta}_{\Delta}$	$\frac{1}{L^2}$	Vektor mit zweiten Ableitungen in Dreieckskoordinaten
δ	–	Variationssymbol
$\frac{\partial}{\partial x}$	$\frac{1}{L}$	partielle Ableitung
$\frac{d}{dx}$	$\frac{1}{L}$	totale Ableitung
\underline{L}	$\frac{1}{L}$	Differentialoperator in kartesischen Koordinaten
\underline{L}_{Δ}	$\frac{1}{L}$	Differentialoperator in Dreieckskoordinaten
$\ \cdot \ _{\infty}$	–	Maximumnorm
$ $	–	Betrag; Determinante

⊙ **Superskripte**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
i	–	Elementnummer
(j)	–	Lastfall j
R	–	Reaktionsgröße

⊙ **Indizes**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
g	–	globales Koordinatensystem
i	–	Nummer eines Elementes oder Knotens
x	L	x -Achse
y	L	y -Achse
z	L	z -Achse

⊙ **Griechische Buchstaben**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
α	$\frac{F}{T L \text{ grd}}$	Wärmeübergangskoeffizient
α	–	Winkel
β	–	Schlankheitsgrad
$\bar{\gamma}$	–	Mittlere Schubdehnung
Γ	L	Integrationsgrenze
ε	–	Dehnung
η	$\frac{F T}{L^2}$	Dynamische Viskosität
θ	–	Verdrehung
Θ	–	Verdrillung
\varkappa	–	Konditionszahl, Schubfaktor
\varkappa	$\frac{1}{L}$	Krümmung
λ	$\frac{F}{T \text{ grd}}$	Wärmeleitfähigkeit
λ	*	Lagrange'sche Parameter, Eigenwert
ν	–	Querkontraktion
ξ	–	natürliche Koordinate

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
ψ	—	Hilfsgröße (Abkürzung)
Π	*	Gesamtpotential
Π_F	FL	Formänderungsarbeit
Π_a	FL	Potential der äußeren Kräfte
ρ	$\frac{FT^2}{L^4}$	Materialdichte
σ_{ii}	$\frac{F}{L^2}$	Normalspannung
σ_{ij}	$\frac{F}{L^2}$	Schubspannung
τ	$\frac{F}{L^2}$	Schubspannung
$\bar{\tau}$	$\frac{F}{L^2}$	mittlere Schubspannung
φ	—	Verdrehung oder Richtungswinkel
ϕ	*	skalare Potentialgröße
$\tilde{\phi}$	*	Näherungsfunktion
Φ	$\frac{F}{TL^2}$	Wärmequellendichte
ω	$\frac{1}{T}$	Kreisfrequenz
Ω	L^2	Fläche

⊙ **Lateinische Buchstaben**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
a_i	—	Ansatzkoeffizienten
A	L^2	Fläche
A_Δ	L^2	Fläche eines Dreieckselementes
\bar{A}	—	mittlere Fläche
b	—	halbe Bandbreite
e, \mathcal{E}	*	Fehler

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
E	$\frac{F}{L^2}$	E-Modul
$E I$	$F L^2$	Biegesteifigkeit des Balkens
f	–	skalarer Faktor; Eigenfrequenz
g	–	skalarer Faktor
\tilde{f}	–	linear unabhängige Funktion
F_f	F	Federkraft
${}^i F_{x_j}$	F	Schnittkraft in x -Richtung des Elementes i am Knoten j
${}^R F_{x_j}$	F	Auflagerreaktion in x -Richtung am Knoten j
g	$\frac{L}{T^2}$	Beschleunigung
H, h	L	Höhe
I	L^4	Flächenträgheitsmoment
k	$\frac{F}{L}$	Federsteifigkeit; Stabsteifigkeit
L, l	L	Längen
m	$\frac{F T^2}{L}$	Masse
m_i	FL	Moment am Knoten i aus einer Streckenlast
M	FL	Moment
M_T	FL	Torsionsmoment
${}^i M_j$	FL	Schnittmoment des Elementes i am Knoten j um die z -Achse drehend
${}^R M_j$	FL	Auflagerreaktion in Form eines Momentes am Knoten j
N_i	★	i -te Formfunktion von N
\mathbb{N}	–	Menge der natürlichen Zahlen
p	–	Konvergenzordnung; Anzahl Nachkommastellen

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
p	$\frac{F}{L^2}$	Druck, Flächenlast
P	F	Längskraft, Schnittkraft
q	$\frac{F}{L}$	Streckenlast
q	$\frac{F}{TL}$	Wärmestromdichte
Q	$\frac{FL}{T}$	punktförmiger Wärmestrom
${}^i\bar{Q}_j$	$\frac{F}{T}$	bezogener, punktförmiger Wärmestrom am Knoten j vom Element i kommend
\bar{Q}	$\frac{F}{T}$	auf die Dicke bezogener, punktförmiger Wärmestrom
Q_i	$\frac{F}{L}$	Kraft am Knoten i aus einer Streckenlast
\mathbb{R}	–	Menge der reellen Zahlen
\mathbb{R}_+	–	Menge der nicht negativen reellen Zahlen
\mathbb{R}_+^*	–	Menge der positiven reellen Zahlen
S_{ki}	L	Kantenlänge eines Dreieckselementes zwischen den Knoten k und i
t	L	Scheibendicke; Plattendicke
T	grad	Temperatur
T_u	grad	Umgebungstemperatur
u, v, w	L	Verschiebungen
\dot{u}	$\frac{L}{T}$	Geschwindigkeit in x -Richtung
$\bar{\dot{u}}$	$\frac{L}{T}$	Mittlere Geschwindigkeit in x -Richtung
\ddot{u}	$\frac{L}{T^2}$	Beschleunigung
V	L^3	Volumen
\dot{V}	$\frac{L^3}{T}$	Volumenstrom
\dot{v}	$\frac{L}{T}$	Geschwindigkeit in y -Richtung
$\bar{\dot{v}}$	$\frac{L}{T}$	Mittlere Geschwindigkeit in y -Richtung

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
w	L	Durchbiegung
\dot{w}	$\frac{L}{T}$	Geschwindigkeit in z -Richtung
\bar{w}	$\frac{L}{T}$	Mittlere Geschwindigkeit in z -Richtung
w_i	–	Gewichtungsfaktoren
x, y, z	L	globales Koordinatensystem
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	L	lokales Koordinatensystem
Z	*	Zielfunktion

⊙ **Vektoren**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
$\vec{0}$	–	Nullvektor
\vec{a}	–	Vektor der Koeffizienten der Ansatzfunktion
\vec{a}_a	*	durch Randbedingungen bestimmte Koeffizienten
\vec{a}_b	*	unbekannte Koeffizienten
\vec{b}	$\frac{F}{L^3}$	Vektor der Volumenkräfte
\vec{B}	$\frac{1}{L}$	Dehnungs-Verschiebungs-Vektor
$\vec{e}_{x,y,z}$	–	Basisvektor; Einheitsvektor
\vec{F}	$F; FL$	Vektor der äußeren Belastungen
\vec{F}	$\frac{FL}{T}$	Vektor der punktförmigen Wärmequellen
\vec{F}_Q	$\frac{FL}{T}$	Vektor infolge der Wärmequellendichte Φ
\vec{F}_q	$\frac{FL}{T}$	Vektor infolge des Wärmeüberganges
\vec{F}_R	$\frac{FL}{T}$	Vektor infolge des Wärmeüberganges auf den Rändern
$j\vec{F}$	$F; FL$	Schnittgrößen des Elementes j

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
\vec{g}	$\frac{L}{T^2}$	Beschleunigungsvektor
\vec{L}	–	Vektor mit Dreieckskoordinaten
\vec{M}	F	Momentenvektor der Platte
\vec{n}	–	Normalenvektor
\vec{N}	*	Vektor der Formfunktionen
\vec{p}	$\frac{F}{L^2}$	Vektor der Randspannungen
\vec{P}	F	Vektor der Bodenkräfte
\vec{P}	L	Punkt der Biegelinie des Balkens
\vec{q}	$\frac{F}{L}$	Vektor der Streckenlasten
\vec{q}	$\frac{FT}{L}$	Wärmestromdichte
\vec{R}	F	Vektor infolge inhomogener Randbedingungen
\vec{u}	L	Verschiebungsvektor
$^{1,2}\vec{u}$	L	Eigenvektoren
\vec{u}	$\frac{L}{T}$	Geschwindigkeitsvektor
$\vec{\bar{u}}$	$\frac{L}{T}$	Vektor der mittleren Geschwindigkeiten
$ \vec{\bar{u}} $	$\frac{L}{T}$	Betrag des mittleren Geschwindigkeitsvektors
$\vec{\ddot{u}}$	$\frac{L}{T^2}$	Beschleunigungsvektor
$\vec{\bar{u}}$	L	Verformungsvektor des Scheibenelementes
$^j\vec{u}$	*	Verformungsvektor des Elementes j
\vec{w}	$L; -$	Vektor der Knotenverformungen des zweidimensionalen Balkenelementes in globalen Koordinaten
$\vec{\bar{w}}$	$L; -$	Verformungsvektor des zweidimensionalen Balkenelementes in lokalen Koordinaten
\vec{x}	$L; -$	Vektor der Koordinaten der Ansatzfunktionen
\vec{X}	L	Aufpunktvektor

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
$\vec{\varepsilon}$	–	Dehnungsvektor
$\vec{\lambda}$	*	Vektor der Lagrange Multiplikatoren
$\vec{\Lambda}$	*	Vektor der Eigenwerte
$\vec{\sigma}$	$\frac{F}{L^2}$	Spannungsvektor
$\vec{\tau}$	$\frac{F}{L^2}$	Schubspannungsvektor
$\vec{\phi}$	*	Vektor der skalaren Knotengrößen

⊙ **Matrizen/Tensoren**

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
$\underline{0}$	–	Nullmatrix
\underline{A}^T	*	transponierte Matrix
\underline{A}^{-1}	*	inverse Matrix
\underline{A}	*	Koeffizientenmatrix
\underline{B}	$\frac{1}{L}$	Dehnungs-Verschiebungs-Matrix
\underline{B}	*	Koeffizientenmatrix
\underline{C}	*	Matrix zur Verknüpfung von kartesischen und Dreieckskoordinaten
\underline{C}	*	obere Dreiecksmatrix
\underline{C}	*	Koeffizientenmatrix
\underline{C}	$\frac{FT}{L}$	Dämpfungsmatrix
\underline{C}	*	Matrix mit Zwangsbedingungen
$\underline{\underline{D}}$	$\frac{F}{L^2}$	Werkstofftensor vierter Stufe
\underline{D}	*	Diagonalmatrix
\underline{D}	$\frac{F}{L^2}$	Werkstoffmatrix

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Beschreibung</u>
\underline{D}	$\frac{F}{T_{\text{grd}}}$	Matrix der Wärmeleitfähigkeiten
\underline{e}	–	Dehnungstensor
\underline{E}	–	Einheitsmatrix
\underline{G}	★	Matrix mit Ableitungen von Formfunktionen
\underline{J}	–	Jakobi-Matrix
\underline{K}	$\frac{F}{L}$	Steifigkeitsmatrix
\underline{K}_E	$\frac{F}{L^2}$	elastische Steifigkeitsmatrix
\underline{K}_G	$\frac{F}{L^2}$	geometrische Steifigkeitsmatrix
\underline{K}_g	★	Gesamtsteifigkeitsmatrix
\underline{K}_w	$\frac{FL}{T_{\text{grd}}}$	Wärmeleitungsmatrix
\underline{K}_k	$\frac{FL}{T_{\text{grd}}}$	Konvektionsmatrix
\underline{K}_B	$\frac{F}{L}$	Steifigkeitsmatrix des Bodens
$\underline{\bar{K}}$	$\frac{F}{L}$	Steifigkeitsmatrix in einem lokalen KOS
\underline{M}	$\frac{FT^2}{L}$	Massenmatrix
\underline{n}	–	Matrix mit den Komponenten des Normalenvektors
\underline{N}	L ; –	Matrix der Formfunktionen
\underline{P}	★	Matrix mit Formfunktionen
\underline{Q}	★	Matrix mit Formfunktionen
\underline{Q}'	★	Matrix mit den Ableitungen von Formfunktionen
\underline{s}	–	Spannungstensor
\underline{T}	–	Transformationsmatrix
\underline{X}	–	Koeffizientenmatrix
\underline{Y}	$\frac{1}{L^2}$	Matrix zur Verknüpfung von $\vec{\Delta}$ und $\vec{\Delta}_\Delta$

Literatur

- [1] Adina Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis, 71 Elton Avenue, Watertown, MA 02472, USA. *Adina*.
- [2] A. Adini and R. Clough. Analysis of plate bending by the finite element method. Technical Report G 7337, Rep. Nat. Sci. Foundation Grant, 1960.
- [3] B.M. Ahmad. Analysis of thick and thin shell structures by curved finite elements. *Int. Journal For Numerical Methods In Engineering*, 2, 1970.
- [4] E. Ålstedt. Shell analysis using planar triangular elements. In K. Holand, J. and Bell, editor, *Finite Element Methods in Stress Analysis*, The Technical University of Norway; Trondheim – Norway, 1972.
- [5] J. Argyris. Continua and discontinua, opening address. In *Proc. (1st) Conf. on Matrix Methods in in Struct. Mech.*, Wright Patterson A.F. Base, Ohio, 1965. Air Force Inst. of Tech.
- [6] K.J. Bathe. *Finite-Element-Methoden*. Springer-Verlag, 1986.
- [7] J.L. Batoz, K.J. Bathe, and L.W. Ho. A study of three - node triangular plate elements. *Int. J. for Numerical Methods in Eng.*, 15, 1980.
- [8] G.P. Bazeley, Y.K. Cheung, B.M. Irons, and O.C. Zienkiewicz. Triangular elements in plate bending – conforming and nonconforming solutions. In *Proc. (1st) Conf. on Matrix Methods in in Struct. Mech.*, pages 805–823, Wright Patterson A.F. Base, Ohio, 1965. Air Force Inst. of Tech.
- [9] E.B. Becker, G.F. Carey, and J.T. Oden. *Finite Elements - An Introduction*. Volume I. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [10] K. Bell. Analysis of thin plates in bending using triangular finite elements. Technical report, Division of Struct. Mech., Technical University of Norway, Trondheim, 1968.
- [11] M.P. Bendsøe and O. Sigmund. *Topology Optimization*. First Edition. Springer Verlag, 2002.
- [12] J. Betten. *Elementare Tensorrechnung für Ingenieure*. Vieweg, 1977.
- [13] J. Betten. *Kontinuumsmechanik*. Springer-Lehrbuch, 1993.
- [14] K. Bosch. *Mathematik-Taschenbuch*. R. Oldenburg Verlag, 1989.
- [15] T.J. Chung. *Finite Elemente in der Strömungsmechanik*. Carl Hanser Verlag, 1982.
- [16] J.C. Clegg. *Variationsrechnung*. Teubner, 1970.
- [17] E. Cuthill. Several strategies for reducing the bandwidth of matrices. In *Sparse Matrices and Their Applications*. Rose, D.J. and Willoughby R.A., Plenum Press, New York, 1972.

- [18] E. Cuthill and J. McKee. Reducing the bandwidth of sparse symmetric matrices. In *ACM Proceedings of 25th National Conference*, New York, 1969.
- [19] G. Dahlquist and Å. Björck. *Numerical Methods*. Prentice-Hall, 1974.
- [20] S. Dworatschek. *Grundlagen der Datenverarbeitung*. de Gruyter Lehrbuch, 1989.
- [21] A. Einstein. Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49(4):769–822, 1916.
- [22] L. Elsgolc. *Variationsrechnung*. B-I- Hochschultaschenbücher Band 431, 1970.
- [23] FE-Design GmbH, Haid und Neu Str. 7, Karlsruhe , 76131. *TOSCA*, TOSCA Revision 6.0 edition.
- [24] G.E. Forsythe, M.A. Malcom, and C.B. Moler. *Computer Methods for Mathematical Computations*. Prentice-Hall, 1977.
- [25] Engeln-Müllges G. and Reutter F. *Formelsammlung zur Numerischen Mathematik*. Wissenschaftsverlag B-I-, 1988.
- [26] R.H. Gallagher. *Finite-Element-Analysis*. Springer-Verlag, 1976.
- [27] W. Gawehn. *Finite Element Methode*. Friedr. Vieweg & Sohn ; Braunschweig/Wiesbaden, 1985.
- [28] I.M. Gelfand and S.V. Fomin. *Calculus of Variations*. Prentice-Hall, 1963.
- [29] Irons B.M. G.P. Bazeley, Y.K. Cheung B.M. and Zienkiewicz O.C. Triangular elements in plate bending - conforming and nonconforming solutions. *Proc. Conf. on Matrix Methods in Structural Mechanics, WPAFB, Ohio, in AFFDL TR 66-80*, pages 547–576, 1965.
- [30] E. Hinton and D.R.J. Owen. *An Introduction to Finite Element Computations*. Pineridge Press Limited, 1979.
- [31] Pawlowski J. *Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalisch-technischen Forschung*. Springer-Verlag, 1971.
- [32] A. Jennings. *Matrix Computation for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, 1977.
- [33] G. Kirchhoff. Über das Gleichgewicht und die Bewegung einer elastischen Scheibe. *Crelles J.*, 40:51–88, 1850.
- [34] H. Leipholz. *Einführung in die Elastizitätstheorie*. G. Braun Karlsruhe, 1968.
- [35] MARC Analysis Research Corporation, 260 Sheridan Avenue, Palo Alto, CA 94306. *MARC Finite-Element-Program*, MARC Revision K6.1 edition.
- [36] W. McGuire and Gallagher R.H. *Matrix Structural Analysis*. John Wiley & Sons, 1979.

- [37] K.O. Monagan and K.M. Geddes. *Maple 8.0 Introductory Programming Guide*. First Edition. Waterloo Maple Inc., 2002.
- [38] D. Netzel. *Beitrag zur wirklichkeitsnahen Berechnung und Bemessung einachsig ausgesteifter, schlanker Gründungsplatten*. PhD thesis, Diss. an der TU Stuttgart, 1973.
- [39] Bridgeman P.W. *Dimensional Analysis*. Yale Univ. Press, 1948.
- [40] J.F. Rosanoff and J.F. Gloudeman. Numerical conditioning of stiffness matrix formulation for frame structures. In *Technical Report AFFDL-TR-68-150*, USAF Flight Dynamics Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, 1968.
- [41] J.R. Roy. Numerical Error in Structural Solutions. *Proc. ASCE J1 of the Struct. Div.*, No. ST4(97):1039–1054, 1971.
- [42] B. Specht. Modified Shape Functions for the Three-node Plate Bending Element Passing the Patch Test. *Int. Journal for Numerical Methods in Engineering*, 26(3):705–715, 1988.
- [43] J.H. Spurk. *Einführung in die Theorie der Strömungen*. Fourth Edition. Springer Verlag, 1996.
- [44] Steinhilper u. Röeber. *Maschinen- und Konstruktionselemente 3*. Second Edition. Springer Verlag, 1996.
- [45] P. Steinke. Ermittlung des Einflusses konstruktiver und werkstoffkundlicher Parameter auf das statische Verhalten des Systems Werkzeugmaschine-Fundament-Baugrund. 1978.
- [46] P. Steinke. *Verfahren zur Spannungs- und Gewichtsoptimierung von Maschinenbauteilen*. PhD thesis, Diss. an der RWTH Aachen, 1983.
- [47] P. Steinke. Gewichts- und Spannungsoptimierung von Tragwerken. 16. *Stahlbauseminar Steinfurt*, 1997.
- [48] P. Steinke. Topologie- und Formoptimierung von Maschinenbauteilen. Technical report, Trafo-Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, 2007.
- [49] G. Strang and G.J. Fix. *An Analysis of the Finite Element Method*. Prentice-Halle, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- [50] Structural Dynamics Research Corporation, 2000 Eastman Drive Milford, Ohio 45150. *I-DEAS Geomod · Solid Modeling and Design, User's Guide*, I-DEAS Level 9 edition.
- [51] J. Szabó. *Höhere Technische Mechanik*. 5-te Auflage. Springer-Verlag, 1972.
- [52] S.P. Timoshenko and J.M. Gere. *Theory Of Elastic Stability*. Second Edition. Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd., 1961.

[53] J. L. Tocher. *Analysis of Plate Bending Using Triangular Elements*. PhD thesis, University of California, Berkeley, California, Dept. of Civil Engineering, 1963.

[54] O.C. Zienkiewicz. *The Finite Element Method*. Mc Graw-Hill Book Company (UK) Limited, 1977.

Sachverzeichnis

- C^0 -Problem 99, 270
- Computeralgebra-Systeme (CAS) 355
- Ansatzfunktion 49, 99
 - dreiknotiges Scheibenelement 213
 - zweiknotiger Balken 144
- Ansatzkoeffizienten 100
- Auflager 126
- Auflagerreaktionen 48, 111, 127
- Balken
 - Biegelinie 201
 - Dehnungen 140
 - eindimensional 366
 - Beispiel 366
 - elastisch gelagert 185
 - Funktional 142
 - mit Gelenk 162
 - Rahmen 381
 - Spannungen 140
 - Tonti-Diagramm 141
 - zweidimensional 192
- Balkenelement 139
 - n Knoten 164
 - p Freiheitsgrade 164
 - Ansatzfunktion 164, 171
 - Dehnungs-Verschiebungs-
Beziehung 167
 - Diskretisierung 145
 - drei Freiheitsgrade pro Knoten 171
 - eindimensional 139, 371
 - Formfunktion 143, 168, 171
 - Funktional 145
 - Interpolationsbedingung 144, 165
 - Momentenverlauf 151
 - Querkraftverlauf 152
 - Schnittgrößen 151, 167, 170, 173
 - Steifigkeitsmatrix 148, 167, 169, 172
 - Streckenlast 149, 167, 169, 172
 - zweidimensional 192
- Balkentheorie
 - Bernoulli 139
 - Einschränkungen 139
 - Timoshenko 175
 - Voraussetzungen 139
- Bandbreite 49
 - halbe 48
 - minimale 50
- Bandstruktur 48
- Beispiel
 - Balkenelement mit Gelenk 162
 - Balkensystem 204
 - eindimensionaler Balken 153, 162
 - eindimensionaler Stab 103
 - elastisch gelagerter Balken 187
 - Erhöhung der Anzahl Balken-
elemente 161
 - Fachwerk 5
 - lineares Problem 10
 - nichtlineares Problem 10
 - Scheibe 225
 - Scheibenproblem I 232
 - Scheibenproblem II 232
 - Stab-Balkenproblem 205
 - Wärmeleitungsproblem I 299
 - Wärmeleitungsproblem II 300
 - Winkel als Balkenproblem 205
 - zur Volumenkraft 221
 - zur Wärmeleitung 294
 - zweidimensionaler Balken 198
 - zweidimensionales Stabproblem 123
 - Zylinderauge 5
- Belastungsvektor 106
- Bernoulli-Balken 237
- Bernoulli-Hypothese 139
- Biegelinie 48, 85, 139
 - des Balkens 201
- Cholesky 51
- Dehnung 335
 - Balken 140
 - zweidimensionaler Balken 192
- Dehnungs-Verschiebungs-
Beziehung 61, 333
- Matrix 216

- Dehnungsfeld 62
- Dehnungstensor
 - Green'sche 334
- Dehnungszustand
 - ebener 210
- Determinante 21, 342, 345
- Diagonalmatrix 54
- Differentialgleichung
 - Euler-Lagrange'sche 37, 38
 - Fourier'sche 122
 - gewöhnliche 64
 - partielle 64
- Differentialoperator 28, 62
- Diskretisierung
 - Funktional 38, 285
- Dissipation 309
- Divergenz 23
- DKT 363
- Dreieck
 - gleichseitiges 384
 - Pascal'sche Dreieck 85
- Dreieckselement 295, 300
- Dreieckskoordinaten 39, 123, 223
- Dreiecksplattenelement 247
- Dreiecksscheibenelement 96
- Drillwinkel 303
- Druck 310
- Druckverteilung 311
- Durchbiegung 98
- Dyade 34, 43, 147
 - bei der Wärmeleitung 287
 - beim Scheibenelement 218
 - dyadische Produkt 179
 - dyadisches Produkt 194
- EDV 3
- Eigenform 342, 348
- Eigenfrequenz
 - Balken 322
 - Stab 315
- Eigenvektoren
 - Balken gelenkig gelagert 324
 - Einmassenschwinger 319
 - Kragbalken 327
 - Zweimassenschwinger 320
- Eigenwerte 263, 347
- Eigenwertproblem 30, 342
- Eingabegrößen 364
- Einheitsdyade 32
- Einheitsverschiebung 100
- Einmassenschwinger 318
- Einzelkraft
 - beim Scheibenelement 217
- Einzelsteifigkeitsmatrix 109, 203
- Elastizitätsmodul 62, 99
- Elastostatik 29
- Elektrische Leitung 268
- Element
 - Auflistung 6–9
 - Balkenelement
 - eindimensional 139
 - zweidimensional 192
 - Plattenelement 7
 - Schalelement 8
 - Scheibenelement 209
 - Stabelement 5
 - dreidimensional 120, 134
 - eindimensional 99
 - zweidimensional 120
 - Viereckselement 5
 - Vierecksplattenelement 7
- Elementknotenanzuordnung 104
- Elementkoordinatensystem 120
- Eulerfall
 - I* 346
 - I, II, III, IV* 349
- Faktorisierung 51
- Feder 99, 103
- Federsteifigkeit 85
- Fehlerabschätzung 57
- Feld
 - dyadisches Feld 29
 - Skalarfeld 28
 - Vektorfeld 29
- Feldgleichungen 63
- Feldproblem 267, 377, 384
- Flächenlast
 - Platte 255
- Flächenträgheitsmoment 46

- Formänderungsarbeit 142, 336
 - Balken 339
 - Diskretisierung 75, 79
- Formelzeichen 389
- Formfunktion 49, 50, 335
 - Ableitung 145
 - Balken
 - eindimensional 143
 - zweidimensional 192
 - Dreieckselement 213
 - Platte 253
 - Stab
 - eindimensional 100, 118, 119
- Fourier'sche Gleichung 311
- Freiheitsgrade
 - Balkenelement
 - zweidimensional 192
 - Dreieckselement
 - Wärmeübertragung 286
 - Scheibenelement 213
 - Stabelement
 - eindimensional 98
- Fundament 185
- Funktional 36
 - Balken 142
 - Platte 243
 - Scheibe 212
 - Stab 98
 - stationärer Wert 71
- Funktionaldeterminante 44
- Gesamtbelastungsvektor 109
- Gesamtpotential 336
 - Balken 79
 - Scheibenproblem 84
- Gesamtsteifigkeitsmatrix 106
 - Direkterstellung 109
- Gleichgewicht 49
 - am Knoten 108
 - im Stabelement 102
 - indifferent 341
 - instabiles 341
 - stabiles 341
- Gleichgewichtsbedingung 64
- Gleichgewichtsbeziehung 238
- Gleichung
 - charakteristische 31, 317, 345
 - homogene 317
- Gleichungssystem
 - homogenes 30, 342
 - Kondition 53
 - lineares 48, 106
- Gleitkommazahlen 53
- Gleitmodul 303
- Gradient 22
- Hauptdehnungen 31
- Hintransformation 32
- Hooke'sches Gesetz 101, 140
- Hydrostatisches Lager 312
 - Achsensymmetrie 312
 - Druckverlauf 312
 - Eingangsdruck 312
 - Traglast 312
 - Volumenstrom 312
- Impulserhaltungssatz 309
- Integration
 - in Dreieckskoordinaten 45
- Interpolationsbedingung 49
- Inversion 36
- kinematische Beziehung 64
- Knicken
 - Balken 341, 374, 375
 - Stab 341
- Knoten 99
- Knotenkräfte
 - aus Streckenlasten 150, 198
 - aus Volumenkräften 219
- Knotenmomente
 - aus Streckenlasten 150, 198
- Knotennummerndifferenz 49
- Knotentemperatur 126
- Knotentemperaturen 272
- Knotenverformungen 106
- Knotenverschiebungen 215
 - Scheibe 225
- Koeffizientenmatrix 53, 91
- Kompatibilität 245
- Kondition 263

- Konditionszahl 54
- Konformitätsbedingung 245
- Kontinuitätsgleichung 309
- Konvektion 285
- Konvektionsmatrix 274, 289, 297
- Konvergenztest
 - Plattenelement 257
- Koordinaten
 - kartesische 40
- Kraftrandbedingung 127, 203
- Lösung
 - Eindimensionaler Balken 46
- Laplace-Operator 23
- Mantelfläche 272
- Massenmatrix
 - Balken 322
 - Stab 316
- Matrix
 - Addition 24
 - Einheitsmatrix 24
 - Jakobi 41
 - Multiplikation
 - mit einem Skalar 25
 - zweier Matrizen 25
 - orthogonale 27, 122, 195
 - positiv definite 50
 - quadratische 24
 - symmetrische 24
 - transponierte 26
- Maximumnorm 57
- Maßsystem 389
- Momentenvergleich 156
- Momentenverlauf
 - Balken 151
- Näherungsfehler 57
- Näherungsfunktion 71
- Nachkommastellen 263
- Navier'sche Gleichung 64
- Nichtlinearität
 - geometrische 333
 - Material 333
- Oberflächentemperatur 121, 122, 300
- Optimierung
 - Beispiele 11
- Orientierungswinkel 124
- Platte
 - Ansatzfunktion 249
 - Biegemoment 240
 - Dehnungs-Verschiebungs-
Beziehung 239
 - Durchbiegung 238
 - Funktional 243
 - Gesamtpotential 245
 - Gleichgewichtsbeziehung 242
 - Grundbeziehungen 237
 - Interpolationsbedingungen 250
 - Kinematische Größen 239
 - Kirchhoff 237
 - Krümmungs-Momenten-
Beziehung 240
 - Krümmungs-Verschiebungs-
Beziehung 253
 - Lagerungsarten 244
 - Momentenvektor 241
 - Randbedingungen 242
 - Schubspannung 240
 - schubstarr 245
 - Schubverformung 238
 - Stoffgleichung 240
 - Verdrehungen 239
- Plattenelement 374
 - Anforderungen 245
 - Kompatibilität 245
- Plattengleichung 242
- Plattensteifigkeit 242
- Potential
 - der äußeren Lasten 142
 - der Streckenlast 143
 - des Momentes 143
- Potentialströmung 268
- Produkt
 - dyadisches 27, 30, 77
- Programmdateien 364, 366, 367, 370,
374, 378
- Querkontraktion 62
- Querkraftvergleich 156
- Querkraftverlauf

- Balken 152
- Rücktransformation 32, 344
- Rückwärtselemination 52
- Randbedingung
 - Auflager 154
 - inhomogene 76
 - nach Cauchy 284
 - nach Dirichlet 284
 - natürliche 62, 105, 311
 - Wärmeleitung 284
 - wesentliche 72, 81, 143
- Randspannungen 63
- Reaktionskraft 23
- Rechenzeit 50
- Reynold'sche Gleichung 310
- Richtungswinkel 82
- Ritz
 - Ansatzfunktion 72
 - Balken
 - eindimensional 365
 - Balkenproblem 79
 - Randbedingungen 72, 85
 - Scheibe 367
 - Beispiel 89, 368
 - Formänderungsarbeit 87
 - Streckenlast 88
 - Scheibenproblem 84
 - Verschiebungsansätze 85
 - Stab
 - eindimensional 363
 - Stabproblem 75
 - Verfahren 71
- Rundungsfehler 53
- Schale
 - Überlagerung 258
 - Freiheitsgrade 258
 - komplanarer Knoten 261
 - Scheibe und Platte 258
 - Transformationen 261
- Schalenelement 258
 - dreiknotig 259
- Scheibe
 - Dehnungen 86
 - Spannungen 86
- Scheibenelement 98, 209
- Scheibenproblem 382
 - Ansatzfunktion 213
 - Dehnungs-Verschiebungs-
Beziehung 215
 - Dehnungsfeld 210
 - Feldgleichungen 211
 - Funktional 212
 - Gleichgewichtsbeziehung 212
 - Grundgleichungen 210
 - Interpolationsbedingungen 214
 - Kinematische Beziehungen 211
 - Randbedingungen 212
 - Spannungs-Verschiebungs-
Beziehung 216
 - Spannungsfeld 211
 - Stoffgleichungen 211
 - Verschiebungsfeld 210
- Schichtenströmung 308
 - laminare 312
- Schmierölfilm 268
- Schnittgrößen 22
 - Balken 203
 - Fehler 155
 - Stabproblem 126
 - Vorzeichen 152
- Schreibweisen 19, 61
- Schubspannung 385
- Schubverformungen 139
- Schwingungsform
 - Balken 322
 - Balken gelenkig gelagert 325
 - Einmassenschwinger 319
 - Kragbalken 328
 - Stab 315
 - Zweimassenschwinger 320
- Seifenhautanalogie 303
- Sickerströmung 268
- Simulation 3
- Spannung
 - Balken 140
 - Scheibe 225
- Spannungsfunktion 303
- Spannungsvektor

- Scheibe 225
- Spannungszustand
 - ebener 210
- Stab
 - Beispiel 103
 - eindimensional 73
 - Beispiel 364, 370
 - Funktional 98
 - Diskretisierung 98
 - Gleichgewichtsbeziehung 96
 - Grundbeziehungen 95
 - Kinematische Beziehungen 96
 - Randbedingungen 96
 - Stoffgleichung 96
 - Tonti-Diagramm 96
 - zweidimensional 120
- Stabelement
 - n Knoten 116
 - Ansatzfunktion 99, 116
 - Auflagerreaktionen 22, 108
 - Dehnungs-Verschiebungs-
 - Beziehung 100, 118
 - dreidimensional 120, 134
 - dreiknotig 119
 - Eigenschaften 95
 - eindimensional 95, 369
 - Formfunktionen 100, 118
 - Gesamtsteifigkeitsmatrix 20
 - Interpolationsbedingung 117
 - Schnittgrößen 108
 - Steifigkeitsmatrix 118
 - Stoffgesetz 101
 - Variable Querschnittsfläche 115
 - Variation des Funktionals 101
 - Verschiebungsansatz 99
 - vierknotig 119
 - zweidimensional 120
 - Stabknicken 343
 - Starrkörperbewegung 245, 246
 - Steifzahlverfahren 185
 - Steifigkeitsmatrix
 - Balkenelement mit Gelenk 51
 - Boden 186
 - Dreiecksscheibenelement 217, 219
 - eindimensionaler Balken 148
 - eindimensionaler Stab 102
 - elastische 337
 - geometrische 337, 340, 344
 - globale 122
 - Platte 254, 255
 - Transformation 195
 - zweidimensionaler Balken 193
 - zweidimensionaler Stab 122
 - Stoffgesetz 64
 - Stoffmatrix 271, 272
 - Streckenlast
 - Balken 42
 - eindimensionaler Balken 139, 149
 - Platte 256
 - Scheibenelement 217
 - Umrechnung in Knotenkräfte 227
 - zweidimensionaler Balken 197
 - Temperaturgradient 295
 - Temperaturverteilung 123, 300
 - Tensor
 - Dehnungen 61
 - höherer Stufe 28
 - Timoshenko-Balken
 - C^0 -Problem 177
 - Biegesteifigkeitsmatrix 178
 - dreiknotig 184
 - Formfunktion 166, 177
 - Gaußstützstellen 179
 - Gewichtungsfaktoren 179
 - Locking-Effect 179, 182, 183
 - Momentenverlauf 181
 - Normalspannung 176
 - Querkraft 177
 - Querkraftverlauf 181
 - reduzierte Integration 179
 - Schlankheitsgrad 179
 - Schubfaktor 184
 - Schubmodul 176
 - Schubspannung 176
 - mittlere 177
 - Schubsteifigkeitsmatrix 178–180
 - Schubverformungen 175
 - Stoffgleichung 181

- Streckenlast 180
- zweiknotig 175
- Tonti-Diagramm
 - allgemeine Form 58
 - Bernoulli-Balken 141
 - Elastostatik
 - schwache Form 65
 - strenge Form 63
 - Feldproblem 267
 - Kirchhoff-Platte
 - schwache Form 243
 - strenge Form 238
 - Scheibenproblem 210
 - Stab 95
- Torsion 268
 - Funktional 305
 - gleichseitiges Dreieck 384
 - prismatische Körper 302
- Torsionsmoment 385
- Transformation
 - lineare 32
- Transformationsmatrix 343
- Umgebungstemperatur 271, 272
- Untermatrix
 - der Gesamtsteifigkeitsmatrix 228
- Variation 37
 - des diskretisierten Funktionals 147
 - erste 37
 - Funktional
 - der Wärmeleitung 292
 - des Scheibenproblems 217
 - stationärer Wert 147
- Variationsproblem 311
- Vektor
 - Ableitung 21
 - Basisvektoren 20
 - Kreuzprodukt 20
 - Nabla-Vektor 22
 - Randspannungen 61
 - Skalarprodukt 20
 - Volumenkräfte 61
- Verdrillung 386
- Verformungsvektor 106
- Verschiebung 99
 - Verschiebungsansatz 73, 335
 - Verschiebungsfeld 29, 61
 - Verschiebungsvektor 61
 - Scheibe 225
 - Volumenkraft 62, 217
 - Vorkonditionierung 55
 - Vorwärtselimination 52
 - Wärmeübergang
 - gleichseitiges Dreieck 384
 - Wärmeübergangskoeffizienten 272
 - Wärmeübergangsvektor 291
 - Wärmeübergangszahl 271
 - Wärmeübertragung
 - eindimensional 271
 - zweidimensional 284
 - Wärmeübertragungsproblem
 - Funktional 271
 - Wärmefluß 112, 299
 - Wärmeisolation 285
 - Wärmeleitfähigkeit 272
 - Wärmeleitung 286
 - Wärmeleitungsmatrix 293, 296, 297, 311
 - Wärmequelle 121, 272, 300
 - punktförmig 126, 271, 289
 - Wärmequellendichte 121, 294, 297, 300
 - Wärmestromdichte 286, 297, 385
 - Zugblech 225
 - Zugspannungen 230
 - zweidimensionales Balkenelement 196
 - Zweimassenschwinger 319

Programme

Fortran90

InterFEM 258, 359, 363

MAPLE

Balken_1D 164

Balken_1D 361, 371

Dynamik_Balken 361, 376

Feldprobleme_1D 362, 377

Feldprobleme_2D 362, 378

FEM_CAS 360, 381

FEM_Grafik 361

Knicken_Balken 341

Knicken_Balken 361, 375

Konvert 361

Platte 362, 374

Ritz_Balken 362, 365

Ritz_Scheibe 362, 367

Ritz_Stab 362, 363

Scheibe_Dreieck 213

Scheibe_Dreieck 362, 373

Stab_1D 116

Stab_1D 361, 369

Timoshenko_1D 362

Python

CALL_for_FEM 355

VB.net

FEM_GEN 358

FEM_VIEW 360