

Vorwort zur vierten Auflage	v
1 Einleitung	1
2 Das grundsätzliche Vorgehen	5
3 Etwas Elastizitätstheorie	23
3.1 Verschiebungen und Verzerrungen	23
3.1.1 Beim Zugstab	23
3.1.2 Bei der Scheibe	25
3.1.3 Im Raum	31
3.1.4 Bei der Platte	32
3.2 Spannungs-Dehnungs-Relationen	34
3.3 Grundlagen der thermo-mechanischen Beanspruchung	44
3.4 Grundlagen Eigenschwingung	47
3.5 Grundlagen nichtlinearer Berechnungen	50
4 Finite Elemente und Elementmatrizen	63
4.1 Grundlagen von Element-Steifigkeits-Matrizen	65
4.2 Materialmatrizen	69
4.3 B-Matrix	70
4.4 Formfunktionen	71
4.5 Integration	81
4.6 Das Aufbringen von Lasten, Lastvektoren	88
4.6.1 Das grundsätzliche Vorgehen	88
4.6.2 Plattenelemente	91
4.6.3 Volumenelemente	93
4.6.4 Ebener und axialsymmetrischer Spannungszustand	104
4.6.5 Streckenlasten bei Balken	106
4.6.6 Gerbergelenke bei Balken	108
4.7 Eine fertige Element-Steifigkeitsroutine	112

4.8	Einige Bemerkungen zur Modellbildung	121
4.8.1	Wahl der Elementtypen	121
4.8.2	Kunststoffe und Materialgesetze	129
4.8.3	Strukturoptimierung	130
4.9	Einige Bemerkungen über Schalen	134
4.10	Elementmatrizen für Thermoanalyse	148
4.11	Elementmatrizen für Schwingungen	150
4.12	Elementmatrizen der nichtlinearen Finite Elemente Analyse	152
5	Compilation, Speicherverfahren und Randbedingungen	163
5.1	Compilation	163
5.2	Speicherverfahren	174
5.2.1	Die Bandspeicherung	176
5.2.2	Das Skyline-Speicherverfahren	180
5.2.3	Das Jennings-Speicherverfahren	182
5.2.4	Speicherung der Nicht-Nullelemente	190
5.2.5	Zusammenfassung der Speicherverfahren	196
5.3	Randbedingungen	197
5.3.1	Einzel-Kräfte und Einzel-Verschiebungen	197
5.3.2	Flächenlasten bei Platten	200
5.3.3	Lagerungen von Platten	202
5.3.4	Randbedingungen bei Temperaturanalysen	203
5.3.5	Randbedingungen bei Schwingungen	206
5.3.6	Randbedingungen bei der nichtlinearen Finite Elemente Analyse ..	207
6	Gleichungslöser	209
6.1	Direkte Verfahren	210
6.1.1	Das Cholesky-Verfahren	212
6.2	Kondition und Skalierung	214
6.3	Iterative Verfahren	223
6.3.1	Das Jacobi-Verfahren	225
6.3.2	Das Gauß-Seidel-Verfahren	226
6.3.3	Das SOR-Verfahren und das JOR-Verfahren	226
6.3.4	Das Verfahren der Konjugierten Gradienten	227
6.3.5	Das Verfahren der Konjugierten Gradienten mit Vorkonditionierung	229
6.4	Solver für thermomechanische Probleme	244
6.5	Solver für Schwingungsprobleme	244
6.6	Gleichungslöser für die nichtlineare Finite Elemente Analyse	255
7	Spannungen und Knotenkräfte	259
7.1	Spannungen	259
7.2	Vergleichsspannungen	266
7.3	Knotenkräfte	273

8	Netzgenerierung krummlinig berandeter Finiter Elemente	277
8.1	Vorgehensweise	277
8.2	Mathematische Grundlagen	279
8.3	Beschreibung eines einfachen Netzgenerators	283
9	Z88: Grundlagen	291
9.1	Allgemeines	291
9.1.1	Die Z88-Element-Bibliothek im Überblick	292
9.2	Das Open Source FE-Programm Z88	304
9.2.1	Die Z88-Module im Überblick	304
9.2.2	Dynamischer Speicher Z88	307
9.2.3	Die Ein- Und Ausgabe von Z88:	310
9.3	Das Freeware FE-Programm Z88Aurora	314
9.3.1	Die Z88Aurora-Module im Überblick	314
9.3.2	Speicherbedarf Z88Aurora	317
9.3.3	Die Ein- und Ausgabe von Z88Aurora	318
10	Die Z88-Module	321
10.1	Der lineare Solver Z88R	321
10.1.1	Z88R: Der direkte Cholesky Solver	322
10.1.2	Z88R: Der Sparsematrix Solver	323
10.1.3	Z88R: Der direkte Sparsematrix Solver in Z88Aurora	325
10.1.4	Welchen Solver nehmen?	326
10.1.5	Erläuterungen zur Spannungsberechnung	326
10.1.6	Erläuterungen zur Knotenkraftberechnung	327
10.2	Der Netzgenerator Z88N	327
10.3	Der Superelementgenerator in Z88Aurora	330
10.3.1	Verwendung von Z88N in Z88Aurora	330
10.3.2	Tetraederverfeinerer Z88MTV	331
10.3.3	2D-Schalenaufdicker Z88MVS	333
10.4	Das OpenGL Plotprogramm Z88O bei Z88 V14 OS bzw. der Postprozessor von Z88Aurora	333
10.5	Der DXF-Konverter Z88X	337
10.6	Der 3D-Konverter Z88G	346
10.7	Der Ansys-Konverter Z88ASY in Z88Aurora	349
10.8	Der Abaqus-Konverter Z88INP in Z88Aurora	351
10.9	Das Cuthill-McKee Programm Z88H	352
10.10	Der Step-Import Z88GEOCON (Step) in Z88Aurora	354
10.11	Der Stl-Konverter Z88GEOCON (Stl) in Z88Aurora	356
10.12	Der Tetraedervernetzer in Z88Aurora	357
10.13	Das Pickingmodul in Z88Aurora	358
10.14	Die Materialdatenbank in Z88Aurora	360
10.15	Die Randbedingungen in Z88Aurora	360

10.16	Die Benutzerunterstützung Spider in Z88Aurora	361
10.17	Das Thermomodul in Z88Aurora	362
10.18	Das Eigenschwingungsmodul in Z88Aurora	365
10.19	Das Modul Z88N für nichtlineare Berechnungen in Z88Aurora	368
11	Eingabe-Dateien erzeugen	373
11.1	Allgemeines	373
11.2	Allgemeine Strukturdaten Z88I1.TXT	375
11.3	Randbedingungsdatei Z88I2.TXT	376
11.4	Flächenlast-Datei Z88I5.TXT	379
11.5	Materialsteuerdatei Z88MAT.TXT	384
11.6	Materialdatei *.TXT	385
11.7	Elementparameterdatei Z88ELP.TXT	385
11.8	Integrationsordnungs-Datei Z88INT.TXT	387
11.9	Netzgenerator-Datei Z88NL.TXT	388
11.10	Solversteuerdatei Z88MAN.TXT	392
11.11	Vergleich der Z88-Dateiformate	395
12	Die Finiten Elemente von Z88 und Z88Aurora	397
12.1	Hexaeder Nr.1 mit 8 Knoten	397
12.2	Balken Nr.2 mit 2 Knoten im Raum	400
12.3	Scheibe Nr.3 mit 6 Knoten	402
12.4	Stab Nr.4 im Raum	403
12.5	Welle Nr.5 mit 2 Knoten	404
12.6	Torus Nr.6 mit 3 Knoten	406
12.7	Scheibe Nr.7 mit 8 Knoten	407
12.8	Torus Nr.8 mit 8 Knoten	409
12.9	Stab Nr.9 in der Ebene	411
12.10	Hexaeder Nr.10 mit 20 Knoten	413
12.11	Scheibe Nr.11 mit 12 Knoten	416
12.12	Torus Nr.12 mit 12 Knoten	418
12.13	Balken Nr.13 in der Ebene	420
12.14	Scheibe Nr.14 mit 6 Knoten	421
12.15	Torus Nr.15 mit 6 Knoten	423
12.16	Tetraeder Nr.16 mit 10 Knoten	426
12.17	Tetraeder Nr.17 mit 4 Knoten	429
12.18	Platte Nr.18 mit 6 Knoten	431
12.19	Platte Nr.19 mit 16 Knoten	433
12.20	Platte Nr.20 mit 8 Knoten	436
12.21	Schale Nr.21 mit 16 Knoten	438
12.22	Schale Nr.22 mit 12 Knoten	440
12.23	Schale Nr.23 mit 8 Knoten	442

12.24	Schale Nr.24 mit 6 Knoten	444
12.25	Element / Solverübersicht Z88Aurora V2	446
13	Beispiele	447
13.1	Schraubenschlüssel aus Scheiben Nr. 7	454
13.1.1	Mit Z88V14	455
13.1.2	Mit Z88AuroraV2	463
13.2	Kranträger aus Stäben Nr. 4	473
13.2.1	Mit Z88V14	474
13.2.2	Mit Z88AuroraV2	479
13.3	Getriebewelle mit Welle Nr. 5	484
13.3.1	Mit Z88V14	486
13.3.2	Mit Z88AuroraV2	489
13.4	Biegeträger mit Balken Nr. 13	493
13.4.1	Mit Z88V14	494
13.4.2	Mit Z88AuroraV2	498
13.5	Plattensegment aus Hexaedern Nr. 1 und Nr. 10	502
13.5.1	Mit Z88V14	503
13.5.2	Mit Z88AuroraV2	509
13.6	Rohr unter Innendruck, Scheibe Nr. 7	512
13.6.1	Mit Z88V14	513
13.6.2	Mit Z88AuroraV2	520
13.7	Rohr unter Innendruck, Tori Nr. 8	522
13.7.1	Mit Z88V14	523
13.7.2	Mit Z88AuroraV2	529
13.8	Zweitaktmotor-Kolben	531
13.8.1	Mit Z88V14	532
13.8.2	Mit Z88AuroraV2	536
13.9	RINGSPANN-Scheibe und Tellerfeder	541
13.9.1	Mit Z88V14	543
13.9.2	Mit Z88AuroraV2	546
13.10	Flüssiggas-Tank	548
13.10.1	Mit Z88V14	548
13.10.2	Mit Z88AuroraV2	552
13.11	Motorrad-Kurbelwelle	554
13.11.1	Mit Z88V14	556
13.11.2	Mit Z88AuroraV2	561
13.12	Drehmoment-Messnabe	565
13.12.1	Mit Z88V14	566
13.12.2	Mit Z88AuroraV2	567
13.13	Ebene Rahmen	568
13.13.1	Mit Z88V14	569
13.13.2	Mit Z88AuroraV2	589
13.14	Zahnrad	591

13.14.1	Mit Z88V14	592
13.14.2	Mit Z88AuroraV2	597
13.15	3D-Schraubenschlüssel	601
13.15.1	Mit Z88V14	601
13.15.2	Mit Z88AuroraV2	613
13.16	Kraftmesselement, Scheiben Nr. 7	615
13.16.1	Mit Z88V14	615
13.16.2	Mit Z88AuroraV2	625
13.17	Kreisplatte, Platten Nr. 20	626
13.17.1	Mit Z88V14	628
13.17.2	Mit Z88AuroraV2	632
13.18	Rechteckplatte mit 16-Knoten Platten Nr. 19	633
13.18.1	Mit Z88V14	633
13.18.2	Mit Z88AuroraV2	640
13.19	Viertaktmotor-Kolben mit Tetraedern Nr. 16	641
13.19.1	Mit Z88V14	642
13.20	Automotor-Lüfterrad	649
13.20.1	Mit Z88V14	651
13.20.2	Mit Z88AuroraV2	652
13.21	Dieselkolben	655
13.21.1	Mit Z88V14	656
13.21.2	Mit Z88AuroraV2	658
13.22	Berechnung einer Formzahl	659
13.22.1	Mit Z88V14	660
13.22.2	Mit Z88AuroraV2	665
13.23	Zahnfußbeanspruchung	666
13.23.1	Mit Z88V14	668
13.23.2	Mit Z88AuroraV2	670
13.24	Vierkantrohr, Schale Nr. 24	672
13.24.1	Mit Z88V14	674
13.24.2	Mit Z88AuroraV2	675
13.25	U-Boot aus Schalen Nr. 22	678
13.26	Zahnrad aus Tetraedern Nr. 17	684
13.27	Schwingende Trommel	687
13.28	Modalanalyse Kurbelwelle	691
13.29	Thermomechanische Analyse eines Löffels	694
13.30	Thermische Analyse eines Viertakt-Motorkolbens	700
13.31	Nichtlineare Berechnung einer Tellerfeder	704
13.32	Nichtlineare Berechnung eines Scharniers	708
14	Quellen und weiterführende Literatur	713
15	Index	719