

Inhaltsverzeichnis

Teil I Physikalische Grundlagen	1
Lernziel	1
1 Temperaturfelder und Wärmeübertragung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Stationäre und instationäre Wärmeübertragung	2
1.3 Lineare und nichtlineare Wärmeübertragung	3
1.4 Wärmeleitung (Konduktion)	3
1.5 Wärmeübergang (Konvektion)	4
1.6 Wärmestrahlung	5
1.7 Wärmequellen und -senken	6
1.8 Wärmekapazität und -speicherung	6
1.9 Phasenübergang	7
2 Grundgleichungen der Wärmeübertragung	8
2.1 Einleitung	8
2.2 Wärmeleitung (Konduktion)	9
2.3 Wärmeübergang (Konvektion)	10
2.4 Wärmestrahlung	11
2.5 Phasenübergang	14
3 Analoge Feldanwendungen	17
3.1 Einleitung	17
3.2 Grundlagen	17
3.3 Elektrostatistisches Feld	18
3.4 Elektrische Leitung	20
3.5 Sickerströmung	21
3.6 Torsion von Wellen oder Profilen	21
3.7 Potentialströmung	22
3.8 Diffusion	23
3.9 Vorgespannte Membranen	24
3.10 Plausibilitätsbetrachtungen	25
Literatur	27
Teil II Einführung in die Finite-Element-Methode	28
Lernziel	28
1 Grundidee der Finite-Element-Methode	28
1.1 Vorbemerkungen	28
1.2 Rechnerische Simulation	29
1.3 Die Finite-Element-Methode (FEM)	30
1.4 Berechnung komplexer Geometrien mit FEM	39
1.5 Anwendung der FEM auf transiente Aufgaben	39

2	Einführung in die Theorie der FEM anhand eines einfachen nachvollziehbaren Beispiels	41
2.1	Aufgabenstellung.....	41
2.2	Analytische Lösung	42
2.3	Lösung nach der Finite Elemente Methode.....	45
2.4	Steigerung der Genauigkeit der Ergebnisse.....	59
2.5	Konvergenzbetrachtung	74
2.6	Hinweise zu der Literaturliste	78
	Literatur	79
Teil III Handhabung des ANSYS/ED-Programms		81
	Lernziel.....	81
1	Überblick über Temperaturfeldberechnungen	82
1.1	Einleitung.....	82
1.2	Ablauf einer Finite-Element-Berechnung.....	86
1.3	Temperaturfeldberechnungen mit dem ANSYS/ED-Programm.....	90
2	Stationäre Temperaturfeldberechnungen	93
2.1	Was ist eine stationäre Temperaturfeldberechnung?	93
2.2	Wie stationäre Temperaturfeldberechnungen durchgeführt werden.....	93
3	Transiente Temperaturfeldberechnungen.....	115
3.1	Was ist eine transiente Temperaturfeldberechnung	115
3.2	Wie transiente Temperaturfeldberechnungen durchgeführt werden.....	115
3.3	Sonstige Hinweise	125
4	Temperatur-Struktur-Kopplung	127
4.1	Die Berechnung des Temperaturfeldes	127
4.2	Die Strukturmechanik-Berechnung.....	128
5	Phasenwechsel.....	132
6	Wärmestrahlung	134
6.1	Was ist Wärmestrahlung?	134
6.2	Wie Probleme mit Wärmestrahlung gelöst werden.....	134
6.3	Die Elemente zur Modellierung von Oberflächeneffekten.....	135
6.4	LINK31, das eindimensionale Element für Wärmestrahlung	136
6.5	Die Randbedingung RDSF (radiosity)	137
6.6	AUX12, der Generator für Strahlungsmatrizen.....	138
7	Analoge Felder	144

8	Gekoppelte Felder, Multiphysik	145
8.1	Hinweise zur Handhabung des ANSYS-Programms.....	145
8.2	Elektrisch-Thermische Multiphysik-Berechnungen.....	147
8.3	Thermisch-Strukturmechanische Multiphysik-Berechnungen.....	147
8.4	Elektrisch-Thermisch-Strukturmechanische Multiphysik-Berechnungen	148
8.5	Fluiddynamisch-Thermische Multiphysik-Berechnungen.....	148
8.6	Magnetisch-Elektrisch-Thermisch-Strukturmechanische Multiphysik-Berechnungen	149
9	Fluiddynamisch-Thermisches Koppelfeld mit dem Elementtyp FLUID116 ...	150
10	Aus der Erfahrung.....	153
	Literatur	155
Teil IV Beispiele.....		156
1	Beispiele zu stationären Temperaturfeldern	156
1.1	Stationäre Temperaturfelder, Einarbeitungsbeispiel.....	156
1.2	Stationäre Temperaturfelder, Rohrleitungsabstützung	204
1.3	Stationäre Temperaturfelder, Hausmauer	218
2	Beispiele zu transienten Temperaturfeldern	230
2.1	Transiente Temperaturfelder, Einarbeitungsbeispiel	230
2.2	Transiente Temperaturfelder, Hausmauer.....	242
2.3	Transiente Temperaturfelder, Schweißnaht	255
2.4	Transiente Temperaturfelder, Brems Scheibe	263
2.5	Transiente Temperaturfelder, Frühstück-Ei	270
3	Beispiele zu Phasenwechsel	274
3.1	Phasenwechsel, Einarbeitungsbeispiel	274
3.2	Phasenwechsel, Gefrierender Wasserspalt.....	279
4	Beispiele zu Wärmestrahlung	288
4.1	Wärmestrahlung, Einarbeitungsbeispiel	288
4.2	Wärmestrahlung, Verifikation der Strahlungsmatrix	307
4.3	Wärmestrahlung, Abbrand eines Holzbalken-Querschnittes	311
5	Beispiele zu analogen Feldberechnungen.....	324
5.1	Analoge Feldberechnungen, Vorgespannte Membran	324
5.2	Analoge Feldberechnungen, Plattenkondensator.....	330

6	Beispiele zu Multiphysik-Berechnungen	338
6.1	Multiphysik-Berechnungen, Einarbeitungsbeispiel	338
6.2	Multiphysik-Berechnungen, Leiterbahnen auf einer Heizescheibe	341
7	Beispiele zu Temperaturfeld- und Strukturberechnung.....	345
7.1	Temperatur-Struktur-Berechnung, Einarbeitungsbeispiel.....	346
7.2	Temperatur-Struktur-Berechnung, Dickwandiger Zylinder.....	356
7.3	Temperatur-Struktur-Berechnung, Flansch	363
7.4	Temperatur-Struktur-Berechnung, Kontakt.....	372
8	Beispiele mit Strömungen.....	382
8.1	Fluidelement FLUID116, Einarbeitungsbeispiel.....	383
8.2	Fluidelement FLUID116, Flächenheizkörper	388
9	Sonstige Beispiele	396
9.1	Sonstige Beispiele, Thermische Verknüpfung (constraint equation interface)	396
9.2	Sonstige Beispiele, Schweißnaht (element birth, element death).....	399
9.3	Sonstige Beispiele, Kühlkörper (Optimierung).....	404
	Literatur	412
Anhänge		413
A	Bibliothek der Temperaturfeld-Elemente im ANSYS/ED-Programm	413
	Hinweise	413
1	Elementeingaben.....	413
1.1	Dimensionen und Einheiten.....	413
1.2	Elementtypen für Temperaturfeldberechnungen	414
1.3	Element-Knoten-Verknüpfung	418
1.4	Element-Kanten und -Ränder	419
2	Dreiecks-, Prismen- und Tetraederelemente.....	419
3	Harmonische Elemente	420
4	Beschreibung der Elementtypen.....	420
4.5	SOLID5 8-Knoten Multiphysik-Element	420
4.9	INFIN9 2-D Randelement.....	421
4.13	PLANE13 2-D 4-Knoten Multiphysik.....	421
4.31	LINK31 Strahlungs-Verbindung	421
4.32	LINK32 2-D Wärmeleitungs-Verbindung	422
4.33	LINK33 3-D Wärmeleitungs-Verbindung	422
4.34	LINK34 Konvektions-Verbindung.....	422
4.35	PLANE35 2-D 6-Knoten Dreiecks-Element	423
4.37	COMBIN37 Kontroll-Element	423
4.39	COMBIN39 Nichtlineare Feder	424

4.40	COMBIN40	Kombinations-Element.....	424
4.47	INFIN47	3-D Rand-Element.....	424
4.50	MATRIX50	Superelement.....	425
4.55	PLANE55	2-D 4-Knoten Vierecks-Element.....	425
4.57	SHELL57	4-Knoten thermische Schale.....	426
4.67	PLANE67	2-D Thermisch-elektrisches Element.....	427
4.68	LINK68	Elektrisch-thermische Verbindung.....	427
4.69	SOLID69	8-Knoten thermisch-elektrisches Element.....	428
4.70	SOLID70	8-Knoten Quader-Element.....	428
4.71	MASS71	Temperaturfeld-Massepunkt.....	428
4.75	PLANE75	2-D 4-Knoten harmonisches Element.....	429
4.77	PLANE77	2-D 8-Knoten Vierecks-Element.....	430
4.78	PLANE78	2-D 8-Knoten harmonisches Element.....	430
4.87	SOLID87	10-Knoten Tetraeder-Element.....	430
4.90	SOLID90	20-Knoten Quader-Element.....	431
4.98	SOLID98	10-Knoten Multiphysik-Tetraeder-Element.....	431
4.110	INFIN110	2-D Rand-Element.....	431
4.111	INFIN111	3-D Rand-Element.....	431
4.116	FLUID116	Thermisch-fluidisch-gekoppeltes Rohr-Element.....	432
4.131	SHELL131	4-Knoten „dicke“ Schale.....	432
4.132	SHELL132	8-Knoten „dicke“ Schale.....	432
4.151	SURF151	2-D Oberflächeneffekt-Element.....	433
4.152	SURF152	3-D Oberflächeneffekt-Element.....	433
4.157	SHELL157	Thermisch-elektrische Schale.....	433
4.169	TARGE169	2-D Ziel- (Kontakt-Gegenseite-) Element.....	433
4.170	TARGE170	3-D Ziel- (Kontakt-Gegenseite-) Element.....	433
4.171	CONTA171	2-D 2-Knoten Fläche-zu-Fläche-Kontakt.....	434
4.172	CONTA172	2-D 3-Knoten Fläche-zu-Fläche-Kontakt.....	434
4.173	CONTA173	3-D 4-Knoten Fläche-zu-Fläche-Kontakt.....	434
4.174	CONTA174	3-D 8-Knoten Fläche-zu-Fläche-Kontakt.....	434
4.175	CONTA175	Punkt-zu-Fläche-Kontakt.....	434
4.223	PLANE223	2-D 8-Knoten Multiphysik.....	434
4.226	SOLID226	20-Knoten Multiphysik-Quader-Element.....	435
4.227	SOLID227	10-Knoten Multiphysik-Tetraeder-Element.....	435
4.251	SURF251	2-D Radiosity-Element.....	435
4.252	SURF252	3-D Radiosity-Element.....	435