

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Lernaufgaben, Lernziele und wichtige Voraussetzungen für die Arbeit mit dem Buch .....	4
1.2 Arbeitsumgebungen .....	6
1.3 Arbeiten mit dem Buch .....	7
<b>2 NX/Simcenter 3D Motion (MKS)</b> .....	<b>11</b>
2.1 Einführung und Theorie .....	11
2.1.1 Berechnungsmethode .....	12
2.1.2 Einschränkungen .....	14
2.1.3 Klassifikationen bei MKS .....	15
2.2 Lernaufgaben zur Kinematik .....	16
2.2.1 Lenkgetriebe .....	16
2.2.1.1 Aufgabenstellung .....	16
2.2.1.2 Überblick über die Funktionen .....	17
2.2.1.3 Überblick über die Lösungsschritte .....	22
2.2.1.4 Erzeugung der NX/Simcenter 3D Motion-Datei .....	22
2.2.1.5 Wahl des Lösungstyps .....	25
2.2.1.6 Definition der Bewegungskörper (Motion Bodies) .....	26
2.2.1.7 Definition von Drehgelenken .....	28
2.2.1.8 Ermittlung unbestimmter Freiheitsgrade .....	30
2.2.1.9 Testlauf mit zwei unbestimmten Freiheitsgraden .....	30
2.2.1.10 Definition eines kinematischen Antriebs .....	32
2.2.1.11 Erzeugung eines Zahnradpaars .....	34
2.2.1.12 Visuelle Kontrolle durch Nutzung der Artikulation .....	34

2.2.2	Top-down-Entwicklung der Lenkhebelkinematik	35
2.2.2.1	Aufgabenstellung	36
2.2.2.2	Überblick über die Lösungsschritte	36
2.2.2.3	Vorbereitungen	37
2.2.2.4	Erzeugung einer Prinzipskizze der Lenkhebel	37
2.2.2.5	Erzeugung der NX/Simcenter 3D Motion-Datei	38
2.2.2.6	Definition der Bewegungskörper durch Skizzenkurven	39
2.2.2.7	Erzeugung von Drehgelenken	41
2.2.2.8	Testlauf mit einem unbestimmten Freiheitsgrad	42
2.2.2.9	Bedeutung redundanter Freiheitsgrade	43
2.2.2.10	Einbau eines Kugelgelenks	45
2.2.2.11	Einbau eines Zylindergelenks	45
2.2.2.12	Erzeugung eines kinematischen Antriebs	46
2.2.2.13	Durchführung der Artikulation	46
2.2.2.14	Graphenerstellung der Radwinkelbewegung	47
2.2.2.15	Erstellung von Baugruppenkomponenten aus Prinzipkurven	50
2.2.2.16	Hinzufügen der neuen Komponenten zum Motion-Modell	52
2.2.3	Kollisionsprüfung am Gesamtmodell der Lenkung	53
2.2.3.1	Aufgabenstellung	54
2.2.3.2	Erstellung der Motion-Datei	54
2.2.3.3	Import der Motion-Untermodele	54
2.2.3.3.1	Art des Imports	54
2.2.3.3.2	Untermechanismus hinzufügen	55
2.2.3.3.3	Nachbereitungen	56
2.2.3.4	Hinzufügen der Lenkstange	57
2.2.3.5	Erzeugung des Drehkreuzes mit einem Hilfskörper	57
2.2.3.6	Erzeugung eines Kugelgelenks	58
2.2.3.7	Artikulation des Gesamtsystems	59
2.2.3.8	Mechanismus für das Einfedern zufügen	59
2.2.3.8.1	Erzeugung eines Schiebegelens am Querträger	59
2.2.3.8.2	Umreferenzierung der Drehgelenke an den Lenkhebeln	60
2.2.3.9	Durchfahren der Bewegungen beim Einfedern und Lenken	61
2.2.3.10	Kollisionsprüfung	61
<b>2.3</b>	<b>Lernaufgaben zur Dynamik</b>	<b>62</b>
2.3.1	Fallversuch am Fahrzeugrad	62
2.3.1.1	Aufgabenstellung	63
2.3.1.2	Vorbereitungen	63
2.3.1.3	Zuordnung von Masseneigenschaften	64
2.3.1.4	Definition der Bewegungskörper (Motion Bodies)	65
2.3.1.5	Funktionsweise des 3D-Kontakts	66
2.3.1.6	Funktionsweise der Reibung am 3D-Kontakt	67
2.3.1.7	Funktionsweise der Dämpfung am 3D-Kontakt	68
2.3.1.8	Erzeugung eines 3D-Kontakts	68
2.3.1.9	Lösung und Animation der Ergebnisse	69
2.3.1.10	Erzeugung einer Bewegungsspur	70

<b>2.4</b>	<b>Lernaufgaben zur Co-Simulation</b>	72
2.4.1	Balancieren eines Pendels	72
2.4.1.1	Aufgabenstellung	73
2.4.1.2	Anpassung der Anwenderstandards	73
2.4.1.3	Start der Anwendung für Co-Simulation	73
2.4.1.4	Erzeugung der Bewegungskörper und Gelenke	74
2.4.1.5	Marker und Sensor erzeugen	75
2.4.1.6	Messgrößenausgang für Simulink erzeugen	77
2.4.1.7	Messgrößeneingang erzeugen und mit Kraft verknüpfen	77
2.4.1.8	Lösung der Co-Simulation	78
2.4.1.9	Postprocessing für einen P-Regler	78
2.4.1.10	Ergebnisse bei einem PD-Regler	79
2.4.1.11	Ergebnisse bei einem PID-Regler	80
<b>3</b>	<b>NX Design Simulation (FEM)</b>	<b>81</b>
<b>3.1</b>	<b>Einführung und Theorie</b>	<b>82</b>
3.1.1	Lineare Statik	83
3.1.2	Nichtlineare Effekte	85
3.1.2.1	Kontakt-Nichtlinearität	86
3.1.2.2	Nichtlineares Material	86
3.1.2.3	Große Verformungen bzw. nichtlineare Geometrie	87
3.1.3	Einfluss der Netzfeinheit	87
3.1.4	Singularitäten	88
3.1.5	Eigenfrequenzen	89
3.1.6	Thermotransfer	91
3.1.7	Lineares Beulen	92
<b>3.2</b>	<b>Lernaufgaben zur Design-Simulation</b>	<b>92</b>
3.2.1	Kerbspannung am Lenkhebel (Sol 101)	93
3.2.1.1	Aufgabenstellung	93
3.2.1.2	Laden und Vorbereiten der Baugruppe	94
3.2.1.3	Starten der FE-Anwendung und Erstellen der Dateistruktur	95
3.2.1.4	Wahl der Lösungsmethode	97
3.2.1.5	Umgang mit dem Simulation Navigator	98
3.2.1.5.1	Navigation in der Dateistruktur	99
3.2.1.5.2	Der Knoten der Simulationsdatei	99
3.2.1.5.3	Der Knoten Polygon Geometry	100
3.2.1.5.4	Der Knoten Simulation Object Container	100
3.2.1.5.5	Die Knoten Load Container und Constraint Container	100
3.2.1.5.6	Der Knoten Solution	101
3.2.1.6	Überblick über die Lösungsschritte	102
3.2.1.7	Vorbereitungen der Geometrie	102
3.2.1.7.1	Erfordernisse an die CAD-Geometrie	103
3.2.1.7.2	Voraussetzungen für Geometrieänderungen in der FE-Umgebung	104

3.2.1.7.3	Erzeugung eines Wave-Geometrie-Links des Bauteils	105
3.2.1.7.4	Symmetrieschnitt am Hebel	105
3.2.1.7.5	Freischnitt irrelevanter Geometrieteile	106
3.2.1.7.6	Detaillierung im Bereich der Kerbe	108
3.2.1.7.7	Vergrößern der Geometrie	108
3.2.1.8	Allgemeines zur Vernetzung	109
3.2.1.9	Erzeugung der Standardvernetzung	110
3.2.1.10	Definition der Materialeigenschaften	112
3.2.1.11	Erzeugung der Last	114
3.2.1.12	Überblick über weitere Lasttypen	115
3.2.1.13	Erzeugung der fixen Einspannung	116
3.2.1.14	Erzeugung der drehbaren Lagerung	117
3.2.1.15	Erzeugung der Bedingung für eine Spiegelsymmetrie	118
3.2.1.16	Vollständigkeit der Einspannung prüfen	118
3.2.1.17	Überblick über weitere Zwangsbedingungen	119
3.2.1.18	Berechnung der Ergebnisse	120
3.2.1.19	Überblick über den Postprozessor	120
3.2.1.20	Beurteilung der Verformungsergebnisse	123
3.2.1.21	Vorläufige Spannungsergebnisse ablesen	125
3.2.1.22	Gemittelte und ungemittelte Knotenspannungen	126
3.2.1.23	Vergleich der FE-Ergebnisse mit der Theorie	127
3.2.1.24	Beurteilung der FE-Netzgüte	129
3.2.1.24.1	Visuelle Kontrolle	129
3.2.1.24.2	Kontrolle durch automatische Prüfung der Elementformen	130
3.2.1.24.3	Kontrolle durch Vergleich der gemittelten und ungemittelten Spannungen	131
3.2.1.25	Möglichkeiten zur Verbesserung des FE-Netzes	131
3.2.1.25.1	Verringerung der Gesamtelementgröße	132
3.2.1.25.2	Lokale Verfeinerung mithilfe von 2D-Oberflächennetzen	132
3.2.1.25.3	Lokale Verfeinerung mit der Gittersteuerung	132
3.2.1.25.4	Lokale Verfeinerung durch Volumenpartitionierung	133
3.2.1.26	Volumenpartitionierung am interessierenden Bereich	133
3.2.1.27	Vernetzung der unterteilten Körper	134
3.2.1.28	Nacharbeitung an den Randbedingungen	135
3.2.1.29	Neuberechnung	135
3.2.1.30	Weitere Verfeinerungen bis zur Konvergenz	136
3.2.1.31	Gegenüberstellung der Ergebnisse und Bewertung	136
3.2.1.32	Der Effekt von Singularitäten	138
3.2.2	Temperaturfeld in einer Rakete (Sol 153)	140
3.2.2.1	Aufgabenstellung	141
3.2.2.2	Laden der Teile	141
3.2.2.3	Erzeugung der Dateistruktur	142
3.2.2.4	Überlegungen zu Symmetrie und Lösungstyp	142

3.2.2.5	Erzeugung der Lösung	142
3.2.2.6	Erzeugung eines WAVE-Links	143
3.2.2.7	Erzeugung der Symmetrieschnitte	144
3.2.2.8	Erzeugung und Zuordnung der Materialeigenschaften	144
3.2.2.9	Erzeugung der Netzverbindung	145
3.2.2.10	Erzeugung der Vernetzung	146
3.2.2.11	Erzeugung der Temperaturreandbedingung	146
3.2.2.12	Erzeugung der Konvektionsrandbedingung	147
3.2.2.13	Die thermische Symmetrierandbedingung	148
3.2.2.14	Berechnung und Anzeige der Ergebnisse	148

## **4 NX/Simcenter 3D FEM 151**

<b>4.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>152</b>
4.1.1	Sol 101: Lineare Statik und Kontakt	154
4.1.2	Sol 103: Eigenfrequenzen	154
4.1.3	Sol 106: Nichtlineare Statik	154
4.1.4	Sol 401/402: Multi-Step Nonlinear	155
<b>4.2</b>	<b>Lernaufgaben zur linearen Analyse und Kontaktfunktion (Sol 101/103)</b>	<b>158</b>
4.2.1	Steifigkeit des Fahrzeugrahmens	158
4.2.1.1	Aufgabenstellung (Teil 1)	159
4.2.1.2	Vorüberlegungen zur Baugruppenstruktur	159
4.2.1.3	Überlegungen zur Vernetzung	159
4.2.1.4	Erzeugung der Dateistruktur für die Schalenelement-Simulation	160
4.2.1.5	Markierungen für spätere Randbedingungen erzeugen	161
4.2.1.6	Entfernung unrelevanter Formelemente	162
4.2.1.7	Erzeugung der Mittelfläche	164
4.2.1.8	Unterteilung der Fläche für den Lastangriff	166
4.2.1.9	Polygoneometrie für die Mittelfläche hinzufügen	167
4.2.1.10	2D-Vernetzen des Flächenmodells	168
4.2.1.11	Angabe der Wandstärke	169
4.2.1.12	Verbindung des Netzes mit den Lagerungspunkten	169
4.2.1.13	Materialeigenschaften	170
4.2.1.14	Erzeugung der Last	170
4.2.1.15	Erzeugung der Lagerungen	171
4.2.1.16	Berechnung und Bewertung der Lösungen	172
4.2.1.17	Verifikation anhand einfacher Balkentheorie	174
4.2.1.18	Aufgabenstellung (Teil 2)	176
4.2.1.19	Möglichkeiten für Baugruppen-FEMs	177
4.2.1.20	Aufbau einer Assembly-FEM	177
4.2.1.21	Erzeugung von Modellen für Nietverbindungen	180
4.2.1.22	Vereinigung doppelter Knoten	182
4.2.1.23	Auflösung von Nummerierungskonflikten	184
4.2.1.24	Erzeugung einer Simulationsdatei	184

4.2.1.25	Einen Fehler im Modellaufbau finden und lösen	185
4.2.1.26	Berechnung der Lösungen	186
4.2.1.27	Gegenüberstellung von zwei verschiedenen Ergebnissen	186
4.2.2	Auslegung einer Schraubenfeder	189
4.2.2.1	Aufgabenstellung	189
4.2.2.2	Überblick über die Lösungsschritte	190
4.2.2.3	Aufbau des parametrischen CAD-Modells	190
4.2.2.4	Überlegungen zur Vernetzungsstrategie	190
4.2.2.5	Überlegungen zu Randbedingungen	192
4.2.2.6	Erzeugung der Dateistruktur und der Lösungsmethode	192
4.2.2.7	Vorbereitungen für Randbedingungen	193
4.2.2.8	Vernetzung mit Balkenelementen	194
4.2.2.9	Zuordnung von Material	195
4.2.2.10	Erstellung und Zuordnung eines Balkenquerschnitts	196
4.2.2.11	Erzeugung der Einspannung	197
4.2.2.12	Erzeugung der aufgezwungenen Verschiebung	198
4.2.2.13	Berechnung der Lösungen	199
4.2.2.14	Ermittlung der Reaktionskraft	199
4.2.2.15	Ermitteln der maximalen Zughauptspannung	200
4.2.2.16	Schlussfolgerungen für die Konstruktion	202
4.2.2.17	Änderung der Konstruktion und Neuanalyse	202
4.2.3	Eigenfrequenzen des Fahrzeugrahmens	203
4.2.3.1	Aufgabenstellung	203
4.2.3.2	Klonen eines ähnlichen Modells	203
4.2.3.3	Erzeugen einer Punktmasse am Rahmen	205
4.2.3.4	Einfügen einer Lösung für Eigenfrequenzen	206
4.2.3.5	Zuweisen der Randbedingungen zur neuen Lösung	207
4.2.3.6	Berechnen und Bewerten der Schwingungsformen und Frequenzen	208
4.2.3.7	Bewerten sonstiger Ergebnisgrößen	209
4.2.4	Klemmsitzanalyse am Flügelhebel mit Kontakt	210
4.2.4.1	Aufgabenstellung	211
4.2.4.2	Notwendigkeit für nichtlinearen Kontakt und Alternativen	211
4.2.4.3	Funktionsweise des nichtlinearen Kontakts	213
4.2.4.4	Laden der Baugruppe und Erzeugen der Dateistruktur	214
4.2.4.5	Kontaktspezifische Parameter in der Lösungsmethode	215
4.2.4.6	Teil 1: Grobanalyse mit Tetraedern	217
4.2.4.7	Geometrievereinfachungen für Symmetrie	217
4.2.4.8	Polygoneometrien nachträglich zufügen	218
4.2.4.9	Materialeigenschaften	219
4.2.4.10	Vernetzung mit Tetraedern	219
4.2.4.11	Symmetrie- und weitere Randbedingungen	220
4.2.4.12	Weiche Federlagerungen für statische Bestimmtheit zufügen	221
4.2.4.13	Definition des Kontaktbereichs	222
4.2.4.14	Erzeugung der Schraubenkraft	224

4.2.4.15	Ausgabe von Kontaktpressung anfordern	225
4.2.4.16	Lösungen berechnen und Ergebnisse beurteilen	225
4.2.4.17	Teil 2: Alternative Vernetzung mit Hex-Tet-Übergang	226
4.2.4.18	Körperunterteilungen für Hexaedervernetzung erzeugen	228
4.2.4.19	Erzwingen einer übereinstimmenden Vernetzung im Kontaktbereich	229
4.2.4.20	Vernetzung mit Hexaederelementen	231
4.2.4.21	Vernetzung mit Pyramidenübergang und Tetraederelementen	232
4.2.4.22	Weitere Schritte bis zum Ergebnis	233
<b>4.3</b>	<b>Lernaufgaben zur Basic Nonlinear Analysis (Sol 106)</b>	<b>234</b>
4.3.1	Analyse der Blattfeder mit großer Verformung	234
4.3.1.1	Aufgabenstellung	234
4.3.1.2	Notwendigkeit für geometrisch nichtlineare Analyse	235
4.3.1.3	Funktionsweise der geometrisch nichtlinearen Analyse	236
4.3.1.4	Überblick über die Lösungsschritte	236
4.3.1.5	Vorbereitungen und Erzeugung der Lösung für lineare Statik	236
4.3.1.6	Mittelfläche erzeugen und der Polygoneometrie zufügen	237
4.3.1.7	Kantenunterteilung an der Polygoneometrie	238
4.3.1.8	Vernetzung für Analysen mit nichtlinearer Geometrie	239
4.3.1.9	Erzeugung der Randbedingungen	240
4.3.1.10	Erzeugung der Lasten für zwei Lastfälle	240
4.3.1.11	Erzeugung einer zweiten Lösung für lineare Statik	241
4.3.1.12	Erzeugung der Lösungen für nichtlineare Statik	242
4.3.1.13	Automatisches Abarbeiten aller Lösungen	243
4.3.1.14	Gegenüberstellen und Bewerten der Ergebnisse	244
4.3.2	Plastische Verformung des Bremspedals	245
4.3.2.1	Aufgabenstellung	246
4.3.2.2	Modelle für Plastizität	246
4.3.2.3	Vorbereitungen und Erzeugen der Lösung	248
4.3.2.4	Vereinfachen der Geometrie	249
4.3.2.5	Vernetzung für plastische Analyse	250
4.3.2.6	Definieren der plastischen Materialeigenschaften	250
4.3.2.7	Definieren der Randbedingungen	252
4.3.2.8	Definieren der Lastschritte für Be- und Entlastung	253
4.3.2.9	Lösungen berechnen und bewerten	254
<b>4.4</b>	<b>Lernaufgaben zur Advanced Nonlinear Analysis – Multi-Step Nonlinear (Sol 401, 402)</b>	<b>255</b>
4.4.1	Schnapphaken mit Kontakt und großer Verformung	255
4.4.1.1	Aufgabenstellung	256
4.4.1.2	Vorbereitungen und Erzeugung der Lösung	256
4.4.1.3	Verändern der Baugruppenposition im idealisierten Teil	257
4.4.1.4	Vereinfachen und Unterteilen der Geometrie	258
4.4.1.5	Gitterverknüpfungen	258
4.4.1.6	Hexaedervernetzung des Gehäuses	259
4.4.1.7	Hexaedervernetzung des Schnapphakens	260

4.4.1.8	Vorbereitung für Reaktionskräfte zufügen	262
4.4.1.9	Materialeigenschaften für Kunststoff	262
4.4.1.10	Kontakt definieren	263
4.4.1.11	Allgemeines zu den Lösungen Multi-Step Nonlinear	264
4.4.1.12	Zeitschritte definieren	265
4.4.1.13	Definition eines zeitabhängigen Verfahrenswegs	266
4.4.1.14	Definieren der weiteren Randbedingungen	268
4.4.1.15	Aktivierung der Option für große Verformungen	269
4.4.1.16	Verstehen des Newton-Verfahrens	269
4.4.1.17	Verstehen des Lösungsverlaufs anhand des Lösungsmonitors	270
4.4.1.18	Möglichkeiten zur Erreichung einer konvergenten Lösung	272
4.4.1.19	Das automatische Zeitschrittverfahren	274
4.4.1.20	Optionales Unterbrechen der Lösung zur Prüfung	277
4.4.1.21	Postprocessing	277
4.4.1.22	Alternative vereinfachte Berechnungsmethoden	278

## **5** NX/Simcenter 3D CFD ..... 281

### **5.1** Prinzip der numerischen Strömungsanalyse ..... 282

### **5.2** Lernaufgaben (Simcenter Flow) ..... 283

5.2.1	Strömungsverhalten und Auftrieb am Flügelprofil	283
5.2.1.1	Aufgabenstellung	283
5.2.1.2	Vorbereitung des CAD-Modells des Windkanals	283
5.2.1.3	Erstellung der Dateistruktur und Auswahl der Lösung	284
5.2.1.4	Zeitschrittgröße und Konvergenzgrenze	285
5.2.1.5	Auswahl eines Turbulenzmodells	287
5.2.1.6	Anforderung des Y+-Ergebnisses	289
5.2.1.7	Weitere Optionen des Lösungselements	289
5.2.1.8	Strategien für die Erstellung des Strömungsraums	290
5.2.1.9	Strategien für die Vernetzung bei Strömungen	290
5.2.1.10	Erzeugung einer Vernetzung der Luft	291
5.2.1.11	Definition von Randschichten für die Vernetzung	292
5.2.1.12	Materialeigenschaften für Strömungen	293
5.2.1.13	Übersicht über Strömungsrandbedingungen	294
5.2.1.13.1	Körperwände	294
5.2.1.13.2	Öffnungen, Ein- und Auslass	296
5.2.1.14	Einlass mit Geschwindigkeitsrandbedingung definieren	297
5.2.1.15	Definition der Auslassöffnung	298
5.2.1.16	Randbedingung für das Flügelprofil	298
5.2.1.17	Randbedingung für die Windkanalwand	299
5.2.1.18	Symmetrierandbedingung an den Schnittwänden	300
5.2.1.19	Anforderung von Ergebnissen während der Lösungsiterationen	300
5.2.1.20	Durchführung der Lösung	301
5.2.1.21	Beobachtung des Lösungsfortschritts	301
5.2.1.22	Kontrolle des Y+-Ergebnisses	303

5.2.1.23	Verbesserung und Neuberechnung des Gitterwandabstands . . .	304
5.2.1.24	Ergebnis der statischen und der totalen Druckverteilung . . . . .	304
5.2.1.25	Ergebnis der Strömungskräfte . . . . .	305
5.2.1.26	Darstellung der Geschwindigkeiten . . . . .	306

## **6 NX/Simcenter 3D EM . . . . . 309**

<b>6.1</b>	<b>Prinzipien elektromagnetischer Analysen . . . . .</b>	<b>311</b>
6.1.1	Elektromagnetische Modelle . . . . .	311
6.1.2	Maxwell-Gleichungen . . . . .	312
6.1.2.1	Ampere-Gesetz . . . . .	312
6.1.2.2	Faraday-Gesetz . . . . .	313
6.1.2.3	Erhaltung der magnetischen Flussdichte . . . . .	314
6.1.3	Materialgleichungen . . . . .	314
6.1.4	Modellauswahl . . . . .	315
6.1.5	Elektrostatik . . . . .	318
6.1.6	Elektrokinetik . . . . .	318
6.1.7	Elektrodynamik . . . . .	318
6.1.8	Magnetostatik . . . . .	319
6.1.9	Magnetodynamik . . . . .	319
6.1.10	Full Wave (Hochfrequenz) . . . . .	320
<b>6.2</b>	<b>Installation und Lizenz . . . . .</b>	<b>320</b>
<b>6.3</b>	<b>Lernaufgaben (EM) . . . . .</b>	<b>322</b>
6.3.1	Spule mit Kern, achsensymmetrisch . . . . .	322
6.3.1.1	Aufgabenstellungen . . . . .	323
6.3.1.2	2D-achsensymmetrische Methode . . . . .	324
6.3.1.3	Erstellung der Dateistruktur und der Lösungen . . . . .	324
6.3.1.4	Vernetzungen und physikalische Eigenschaften . . . . .	326
6.3.1.5	Randbedingungen und Lasten . . . . .	334
6.3.1.6	Durchführung der Berechnung . . . . .	336
6.3.1.7	Flussdichte und weitere Ergebnisse . . . . .	336
6.3.2	Spule mit Kern, 3D . . . . .	340
6.3.2.1	Erstellung der Dateistruktur und der Lösungen . . . . .	340
6.3.2.2	Vernetzungen und physikalische Eigenschaften . . . . .	340
6.3.2.3	Randbedingungen und Lasten . . . . .	343
6.3.2.4	Durchführung der Berechnung und Auswertung . . . . .	344
6.3.3	Hochfrequenz-(Full-Wave-)Schirmung, EMV . . . . .	344
6.3.3.1	CAD-Modell . . . . .	345
6.3.3.2	Vernetzungen . . . . .	346
6.3.3.3	Full Wave Setup . . . . .	346
6.3.3.4	Abschätzung der Frequenz für Wellenablösung . . . . .	347
6.3.3.5	Finden von Peaks durch Frequenz-Sweep . . . . .	348
6.3.4	Elektromotor . . . . .	350
6.3.4.1	Aufgabenstellung . . . . .	350
6.3.4.2	CAD-Vorbereitungen für Automatisierungen . . . . .	351

6.3.4.3	Erstellung der Dateistruktur und der Lösungen	353
6.3.4.4	Vernetzungen und Spulenschema	353
6.3.4.5	Physikalische Eigenschaften	357
6.3.4.6	Rotorbewegung	360
6.3.4.7	Definition des Dreiphasenstroms	363
6.3.4.8	Umgebungsbedingung	364
6.3.4.9	Finden der Rotor-Startstellung	364
6.3.4.10	Berechnung des Drehmomentverlaufs	366
6.3.4.11	Darstellung der Flussdichte und der Bewegung des Rotors	367
6.3.4.12	Ermittlung des Spannungsverlaufs der Phasen	367
6.3.4.13	Ermittlung der Verluste	369

## **7** Management von Berechnungs- und Simulationsdaten **373**

<b>7.1</b>	<b>Einführung und Theorie</b>	<b>373</b>
7.1.1	CAD/CAE-Integrationsproblematik	373
7.1.2	Lösungen mit Teamcenter for Simulation	374
7.1.2.1	Das CAE-Datenmodell in Teamcenter for Simulation	375
7.1.2.2	Weitere Lösungen	376
<b>7.2</b>	<b>Lernaufgaben zu Teamcenter for Simulation</b>	<b>377</b>
7.2.1	Durchführung einer NX CAE-Analyse in Teamcenter	377
7.2.1.1	Aufgabenstellung	377
7.2.1.2	Import eines CAD-Teils in Teamcenter	377
7.2.1.3	Erstellung der Teamcenter CAE-Struktur	378
7.2.1.3.1	FEM-Datei/CAEModelRevision	378
7.2.1.3.2	Idealisierte Datei/CAEGeometryRevision	379
7.2.1.3.3	SIM-Datei/CAEAnalysisRevision	380
7.2.1.3.4	Erzeugung einer JT-Visualisierung	382
7.2.1.4	Schritte in der FEM-Datei	383
7.2.1.5	Schritte in der Simulationsdatei	383
7.2.2	Welches CAD-Modell gehört zu welchem FEM-Modell?	385
7.2.2.1	Darstellung der Beziehungen in den Details	386
7.2.2.2	Darstellung der Beziehungen im CAE-Manager	387
7.2.3	Revisionierung	388
7.2.3.1	Revisionierung des CAD-Modells, berechnungsrelevant	388
7.2.3.2	Prüfung des FEM-Modells auf neue CAD-Revisionen	389
7.2.3.3	Aktualisierung und Revisionierung des FEM-Modells	389
7.2.3.4	Revisionieren des CAD-Modells, nicht berechnungsrelevant	391
7.2.3.5	Verknüpfung des alten FEM-Modells mit dem geänderten CAD-Modell	391

<b>8</b>	<b>Manuelle Berechnung eines FEM-Beispiels</b> .....	<b>393</b>
8.1	Aufgabenstellung .....	393
8.2	Idealisierung und Wahl einer Theorie .....	394
8.3	Analytische Lösung .....	394
8.4	Raumdiskretisierung für FEM .....	395
8.5	Aufstellung und Lösung des FEA-Gleichungssystems .....	396
8.6	Vergleich der analytischen Lösung mit der Lösung aus der Finite-Elemente-Analyse .....	398
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>401</b>
	<b>Index</b> .....	<b>405</b>