

Inhalt

TEIL I Digital Prototyping

1	Einführung	3
1.1	Autodesk Inventor	3
1.2	Die Grenzen der Simulation	5
1.3	Was fehlt	5
1.4	Inventor-Schnittstellen	6
1.5	Inventor für Schüler und Studenten	7
1.5.1	Inventor kostenlos?	7
1.6	Systemvoraussetzungen	7
1.6.1	Hinweise zur Installation	7
1.6.2	Hardware	7
1.6.3	Betriebssysteme	8
1.6.4	Sonstige Anforderungen	8
1.7	Voraussetzungen für Anwender	9
1.8	Übungsdateien und Videos auf DVD	9
1.9	Resümee	9
2	Digital Prototyping und Produktdesign	11
2.1	Virtuelle 3D-Modelle	11
2.2	Herstellung von Prototypen, Rapid Prototyping	12
2.3	Produktoptimierung	13
2.3.1	Flächen- bzw. Formoptimierung	13
2.3.2	Berechnungen	14
2.3.3	Dynamische Simulation	14

TEIL II Oberflächenanalysen und Grundlagen

3	Bauteilanalysen	17
3.1	Zebra-Analyse	19
3.2	Entwurf, Verjüngungsanalyse	20
3.3	Fläche, Gauß-Analyse, Gauß'sche Flächenkrümmung	21
3.4	Schnitt, Querschnittsanalyse	23
3.5	Krümmungsanalyse, Krümmungskammanalyse	24
4	Technische Mechanik, Festigkeitslehre und Inventor	27
4.1	Statik	27
4.2	Freiheitsgrade	28
4.3	Freiheitsgrade überprüfen	30
4.3.1	Anzeige der Freiheitsgrade	30
4.3.2	Freiheitsgrad-Analyse	31
4.4	Gelenke	32
4.4.1	Inventor-Gelenke	33
4.5	Reibung	34
4.6	Kinematik	34
4.7	Dynamik	36
4.7.1	Schwerkraft, Gravitation	36
4.7.2	Masse, Gewichtskraft, Trägheitsmomente	37
4.7.3	Gelenkkräfte und -momente	37
4.7.4	Simulation	38
4.7.5	Export nach FEM	39
4.7.6	Schwingungen, Eigenfrequenz, Resonanz, Modalanalyse	40
4.8	Festigkeitslehre und FEM-Ergebnisse	41
4.8.1	Festigkeitshypothesen	42
4.8.2	Spannungen	43
4.8.3	Verformungen	44
4.8.4	Sicherheitsfaktoren, Belastung/Dehnung	44
4.8.5	Kontaktdruck	45
4.8.6	Knicken und Beulen	45
4.9	Grenzen der Inventor-Mechanik	46
5	Die Materialbibliothek	49
5.1	Der Materialien-Browser	49
5.2	Mit Materialien und Darstellungen arbeiten	50
5.2.1	Übersicht	50
5.3	Eine eigene Bibliothek mit neuen Materialien erstellen	55

5.3.1	Eigene Bibliothek und eigene Kategorien erstellen	55
5.3.2	Ein neues Material definieren	56
5.4	Problematische Materialien in der FEM	58
5.4.1	Beispiel: Silentblock	58
5.4.2	Material ohne Kennwerte	59
5.5	Nicht in der FE-Analyse verwendbare Werkstoffe	62
5.5.1	Polymere Werkstoffe	62
5.5.2	Verbundwerkstoffe	63
5.6	Bauteile mit großen Verformungen	64

TEIL III Grundlagen und Anwendungsbeispiele der Finiten-Elemente-Methode

6	FEM	69
6.1	FEM, allgemein	69
6.2	Konvergenz	70
6.2.1	Maximale Anzahl der H-Verfeinerungen	71
6.2.2	Stopp-Bedingung	71
6.2.3	Schwellenwert für H-Verfeinerungen	71
6.2.4	Konvergenz-Plots	72
6.2.5	Beispiel: Konvergenzeinstellungen und Auswirkung	72
6.3	Das FEM-Netz	75
6.3.1	Netzeinstellungen	75
6.3.2	Lokale Netzsteuerung	77
6.3.3	Allgemeine Richtlinien für die Netzerstellung	78
6.3.4	Netzgenerierungen und Simulationen mit dünnen Bauteilen	80
6.4	Abhängigkeiten, Einspannungen	80
6.5	Lasten und Lastangriffsfälle	81
6.5.1	Lastarten	81
6.5.2	Lastangriffsfälle	82
6.6	Beispiel einer einfachen vollständigen FE-Analyse	89
6.6.1	Das Bauteil und seine Eigenschaften	90
6.6.2	Funktion des Bauteils	91
6.6.3	Die erste Simulation erstellen	92
6.6.4	Das Bauteil einspannen	92
6.6.5	Trennen von Bauteilflächen	92
6.6.6	Das Bauteil belasten	93
6.6.7	Das Bauteilnetz	94
6.6.8	Simulation ausführen	95
6.6.9	Anpassung der Gestalt (Gestaltfestigkeit)	97
6.6.10	Materialanpassung	98
6.6.11	Hauptspannungen	100

6.6.12	Verformung, Verschiebung	101
6.6.13	Rückstoßkräfte, Lagerkräfte	102
6.6.14	Ergebnisprotokoll	103
6.6.15	Bericht	104
7	Rückstoßkraft und Kraftermittlung über Verformungen	107
7.1	Beispiel: Rückstoßkraft ermitteln	107
7.2	Verformungskraft ermitteln	108
7.3	Fehlerbetrachtung	110
8	Parametrische FEM-Studien	111
8.1	Das parametrische Bauteil	111
8.2	Vorbereitung der parametrischen FE-Analyse	112
8.2.1	Die parametrische Tabelle	112
8.3	Die parametrische Simulation	117
8.4	Parametrische Ergebnisse	118
8.5	Das Modell anpassen	120
9	FEM an dünnen Bauteilen	123
9.1	Beispiel: Blechtraverse	123
9.2	Simulation als normaler Körper	124
9.3	Simulation als dünnwandiges Bauteil	125
10	Modal- oder Eigenfrequenzanalyse	129
10.1	Eine Modalanalyse durchführen	129
10.2	Ein zweites Beispiel	132
11	Stimmgabel 440 Hz entwerfen	135
11.1	Die Konstruktion	135
11.2	Die Belastungsanalyse	136
11.2.1	Netzverfeinerung	137
11.2.2	Die erste Simulation	137
11.3	Frequenzermittlung iterativ	138
11.4	Frequenzermittlung mit parametrischer Tabelle	140

12	FEM an Schweißbaugruppen	143
12.1	Erstes Beispiel	143
12.1.1	Die Baugruppe	143
12.1.2	Die Schweißverbindung	144
12.1.3	Die Vorbereitung der Belastungssimulation	145
12.1.4	Kontakte überprüfen	146
12.1.5	Die Simulation	148
12.2	Zweites Beispiel	149
12.2.1	Die Schweißkonstruktion	149
12.2.2	Simulation vorbereiten	150
12.2.3	Kontakte kontrollieren	151
12.2.4	Die Simulation	152
12.2.5	Sicherheitsfaktor	153
12.3	Punktschweißen	154
12.3.1	Die Punktschweißung im Beispiel	155
12.3.2	Die Simulation vorbereiten	155
12.3.3	Kontakte bearbeiten	156
12.3.4	Die Simulation	156

TEIL IV Einfache Bewegungssimulationen und Baugruppenvereinfachung

13	Einfache Bewegungssimulationen	161
13.1	Baugruppen von Hand bewegen	161
13.2	Automatische Bewegung in der Baugruppe	162
13.3	Bewegung in der Präsentationsumgebung	164
13.3.1	Eine Präsentation erstellen	165
13.3.2	Die Präsentationsfunktionen	165
13.4	Die Präsentationsanimation von Schrauben	169
13.4.1	Komponentenpositionen	169
13.5	Bewegung im Inventor Studio	171
13.5.1	Die Inventor Studio-Arbeitsumgebung	172
13.6	Beispiel einer Studio-Animation	176
13.6.1	Vorbereitung der Animation	176
13.6.2	Abhängigkeit animieren	177
13.6.3	Die Ablaufsteuerung	178
13.6.4	Animation aufzeichnen	179

14	Bauteil- bzw. Baugruppenvereinfachung	181
14.1	Beispiel: Kurbeltrieb	182
14.2	Detailgenauigkeit erstellen	182
14.3	Bauteile mit vereinfachtem Bauteil ersetzen	184

TEIL V Die dynamische Simulation anhand zahlreicher Beispiele

15	Die dynamische Simulationsumgebung	189
15.1	Die Arbeitsumgebung	189
15.1.1	Funktionsgruppe Verbindung	190
15.1.2	Funktionsgruppe Laden	190
15.1.3	Funktionsgruppe Ergebnisse	191
15.1.4	Funktionsgruppe Animieren	191
15.1.5	Funktionsgruppe Verwalten	192
15.1.6	Funktionsgruppe Belastungsanalyse	193
15.1.7	Funktionsgruppe Beenden	193
15.2	Der Objektbrowser in der dynamischen Simulation	193
15.3	Bewegliche Gruppen einfärben	196
15.4	Beschreibung der Gelenkarten	197
15.4.1	Normgelenk	197
15.4.2	Abhängigkeiten und Gelenke	197
15.4.3	Vordefinierte Gelenke	199
15.5	Gelenkeinfügungsarten	201
15.5.1	Gelenkeinfügung von Hand: die Funktion Gelenk einfügen	201
15.5.2	Gelenk aus Abhängigkeit erzeugen: die Funktion Abhängigkeiten ableiten	206
15.5.3	Automatische Gelenkdefinition	207
15.6	Eigenschaften der Normverbindung bearbeiten	209
15.6.1	Registerkarte Allgemein	209
15.6.2	Registerkarte Freiheitsgrad x (R/T)	211
15.7	Gelenkkräfte, Steifigkeit und Dämpfung	212
15.7.1	Nichts ist starr – alles ist Gummi!	212
15.7.2	Steifigkeit und Dämpfung – der Sprungbretteffekt	212
15.7.3	Inventor ist ein Starrkörpersystem	213
15.7.4	Inventor ist elastisch?	213
15.7.5	Steifigkeit	214
15.7.6	Dämpfung	215
15.8	Gelenkeigenschaften	215
15.8.1	Anfangsbedingungen bearbeiten	216
15.8.2	Gelenkdrehmoment bzw. Gelenkkraft bearbeiten	217
15.8.3	Festgelegte Bewegung bearbeiten	218

15.9	Das Eingabediagramm	218
15.9.1	Die Diagrammfläche	219
15.9.2	Sektor-Optionen	219
15.9.3	Start- und Endpunkt	220
15.9.4	Funktionsdefinitionen speichern und laden	221
15.9.5	Referenzachsen bestimmen	221
16	Pendelklappe mit Schwerkraft	223
16.1	Die Bauteile und die Baugruppe	223
16.2	Die dynamische Simulation starten	224
16.3	Schwerkraft definieren	225
16.4	Die erste Simulation	226
16.5	Einen 3D-Kontakt einfügen	227
16.6	Die zweite Simulation	228
16.7	Ändern der Pufferdämpfung	228
16.8	Drehgelenkeigenschaften einstellen	229
17	Das Ausgabediagramm	231
17.1	Die Oberfläche des Ausgabediagramms	232
17.2	Diagrammoptionen	232
17.3	Variable anzeigen	233
17.4	Eine zweite Variable überlagern	235
17.5	Nullpunktverschiebung	236
17.6	Darstellungs- und Wertegenauigkeit	237
17.7	Diagramm und Werte nach Excel exportieren	238
18	Fliehkraftregler	239
18.1	Die Baugruppenabhängigkeiten	240
18.2	Baugruppe bewegen	242
18.3	Die dynamische Simulation	243
18.3.1	Überbestimmungen	243
18.3.2	Der Objektbrowser	244
18.4	Der Antrieb	245
18.4.1	Antriebsmoment	246
18.4.2	Dämpfung	246
18.4.3	Reibung	247
18.5	Die Vertikalbewegung der unteren Gleitbuchse	247
18.5.1	Die Rotation	248
18.6	Andere Gelenke mit Reibwerten versehen	249

18.7	Die Simulation	250
18.8	Das Ausgabediagramm	251
18.8.1	Rotationsgeschwindigkeit interpretieren	251
18.8.2	Schwingungen untersuchen	252
18.9	Feder einfügen	253
18.10	Simulation mit eingebauter Feder	257
18.11	Kurven im Ausgabediagramm bearbeiten	258
18.12	Export nach FEM und FE-Analyse von Bauteilen	259
18.12.1	Die Vorbereitung	259
18.12.2	Zeitschritt auswählen	260
18.12.3	Bauteile zur FE-Analyse auswählen	260
18.12.4	Überbestimmte Bauteile heilen	261
18.12.5	In die Belastungsanalyse wechseln	263
18.12.6	Die Belastungsanalysen	264
18.12.7	Fazit	266
19	Spielerei mit einem Ball	267
19.1	Die Bauteile und die Konstruktion	267
19.2	Die Simulationsumgebung	269
19.2.1	Feder einfügen	269
19.2.2	Schwerkraft definieren	270
19.2.3	Der Ball benötigt Gelenke	271
19.2.4	Der Objektbrowser	273
19.3	Die Simulation	274
19.3.1	Starres Abprallen	274
20	Kurbelschwinge	277
20.1	Die Funktion	277
20.2	Die Bauteile	278
20.3	Die Abhängigkeiten	279
20.4	Nach Abhängigkeit bewegen	280
20.5	Vorbereitung der Simulation	281
20.5.1	Nichts geht mehr	281
20.5.2	Geht doch!	282
20.5.3	Der Antrieb	282
20.6	Die erste Simulation	283
20.7	Schiebegelenk einfügen	284
20.8	Die zweite Simulation	286
20.9	Schwerkraft und Reibung	286
20.9.1	Schwerkraft	286
20.9.2	Reibungswerte und Kraftübertragung	287

20.9.3	Beidseitige Kraftübertragung an der Schwinge	287
20.9.4	Gelenkreibungen der Drehgelenke	288
20.9.5	Startposition	288
20.10	Die dritte Simulation und das Ausgabediagramm	289
20.10.1	Das Ausgabediagramm	290
20.11	Externe Kraft einfügen	292
20.12	Die vierte Simulation und das Ausgabediagramm	293
20.13	Spur aufzeichnen	295

21 Schiebevorrichtung 299

21.1	Die Bauteile	299
21.2	Die Funktion	300
21.3	Gelenke einfügen	301
21.3.1	Zylindrisches Schiebegelenk	301
21.3.2	Punkt-Ebene-Gelenk	302
21.3.3	Druckfeder	303
21.4	Die erste Simulation	305
21.5	Status des Mechanismus	306
21.6	Redundante Abhängigkeiten	308
21.6.1	Redundanz hinzufügen	308
21.6.2	Redundanz untersuchen	309
21.7	Gelenkdrehmoment aktivieren	310
21.8	Die zweite Simulation	311
21.9	Externe Belastung	313
21.9.1	Externe Kraft definieren	313
21.9.2	Antriebsmoment anpassen	314
21.9.3	Die dritte Simulation	314
21.9.4	Das Ausgabediagramm	315
21.10	Export nach FEM	316
21.11	Die FE-Analyse der Schwinge	316

22 Kurbelschwinge, die Dritte 319

22.1	Die Bauteile	319
22.2	Die Baugruppe	320
22.3	Die Simulationsumgebung	320
22.4	Gelenke einfügen	321
22.4.1	Räumliches Gelenk	321
22.4.2	3D-Kontakte	322
22.5	Reibung definieren	323
22.6	Die Simulation	324

23	Hubkolben-Triebwerk	325
23.1	Die Baugruppe	325
23.2	Die Simulationsumgebung	326
23.3	Untersuchung der Redundanz	327
23.3.1	Status des Mechanismus	327
23.3.2	Schwerkraft definieren	328
23.3.3	Gelenke überprüfen und bearbeiten	329
23.4	Die erste Simulation	332
23.5	Zweites Beispiel: Antrieb durch den Kolben	333
23.5.1	Externe Kraft wirken lassen	334
23.5.2	Externe Kraft definieren	334
23.5.3	Kraft im Eingabediagramm definieren	335
23.6	Die zweite Simulation	336
23.6.1	Das Ausgabediagramm	337
23.7	Beispiel: Verbrennungsmotor	338
23.7.1	Lastmoment hinzufügen	338
23.7.2	Zyklischen Antrieb hinzufügen	338
23.7.3	Die Simulation	341
23.8	Variante mit Feder	342
23.8.1	Festgelegte Bewegung aktivieren	342
23.8.2	Feder einfügen	342
23.8.3	Die Simulation	343
23.8.4	Das Ausgabediagramm	344
23.9	Export nach FEM	345
23.9.1	Die FE-Analyse der Kurbelwelle	345
23.9.2	Die FE-Analyse des Kolbens	347
	Stichwortverzeichnis	349