

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Autodesk Inventor	1
1.2	Die Grenzen der Simulation	3
1.3	Was fehlt	3
1.4	Inventor-Schnittstellen	4
1.4.1	Importformate	4
1.4.2	Exportformate	4
1.5	Inventor für Schüler und Studenten	5
1.5.1	Inventor kostenlos?	6
1.6	Systemvoraussetzungen	6
1.6.1	Hinweise zur Installation	6
1.6.2	Hardware	6
1.6.3	Betriebssysteme	7
1.6.4	Sonstige Anforderungen	7
1.7	Voraussetzungen für Anwender	7
1.8	Übungsdateien und Videos auf DVD	7
1.9	Resümee	8
2	Digital Prototyping und Produktdesign	9
2.1	Virtuelle 3D-Modelle	9
2.2	Herstellung von Prototypen, Rapid Prototyping	10
2.3	Produktoptimierung	11
2.3.1	Flächen- bzw. Formoptimierung	11
2.3.2	Berechnungen	12
2.3.3	Dynamische Simulation	12
3	Bauteilanalysen	13
3.1	Zebra-Analyse	15
3.2	Entwurf, Verjüngungsanalyse	16

3.3	Fläche, Gauß-Analyse, Gauß'sche Flächenkrümmung	17
3.4	Schnitt, Querschnittsanalyse	19
3.5	Krümmungsanalyse, Krümmungskammanalyse	20
4	Technische Mechanik, Festigkeitslehre und Inventor	23
4.1	Statik	23
4.2	Freiheitsgrade	25
4.3	Freiheitsgrade überprüfen	26
4.3.1	Anzeige der Freiheitsgrade.....	26
4.3.2	Freiheitsgrad-Analyse	27
4.4	Gelenke	28
4.4.1	Inventor-Gelenke	29
4.5	Reibung	30
4.6	Kinematik	31
4.7	Dynamik	32
4.7.1	Schwerkraft, Gravitation	33
4.7.2	Masse, Gewichtskraft, Trägheitsmomente	33
4.7.3	Gelenkkräfte und -momente	33
4.7.4	Simulation	34
4.7.5	Export nach FEM	35
4.7.6	Schwingungen, Eigenfrequenz, Resonanz, Modalanalyse	35
4.8	Festigkeitslehre und FEM-Ergebnisse	37
4.8.1	Festigkeitshypothesen	38
4.8.2	Spannungen	39
4.8.3	Verformungen	40
4.8.4	Sicherheitsfaktoren, Belastung / Dehnung.....	40
4.8.5	Kontaktdruck.....	41
4.8.6	Knicken und Beulen	41
4.9	Grenzen der Inventor-Mechanik	42
5	Die Materialbibliothek	45
5.1	Der neue Materialien-Browser	45
5.2	Der „alte“ Stil- und Normen-Editor	46
5.3	Mit Materialien und Darstellungen arbeiten	46
5.3.1	Übersicht	46
5.4	Der Eco Materials Adviser	51
5.5	Eine eigene Bibliothek mit neuen Materialien erstellen	52
5.5.1	Eigene Bibliothek und eigene Kategorien erstellen.....	53
5.5.2	Ein neues Material definieren.....	54
5.6	Migration von Stilen älterer Versionen	56

5.7	Problematische Materialien in der FEM	58
5.7.1	Beispiel: Silentblock	58
5.7.2	Material ohne Kennwerte	59
5.8	Nicht in der FE-Analyse verwendbare Werkstoffe	62
5.8.1	Polymere Werkstoffe	62
5.8.2	Verbundwerkstoffe	62
5.9	Bauteile mit großen Verformungen	64

6	FEM	65
6.1	FEM, allgemein	65
6.2	Konvergenz	66
6.2.1	Maximale Anzahl der H-Verfeinerungen	67
6.2.2	Stopp-Bedingung	68
6.2.3	Schwellenwert für H-Verfeinerungen	68
6.2.4	Konvergenz-Plots	68
6.2.5	Beispiel: Konvergenzeinstellungen und Auswirkung	69
6.3	Das FEM-Netz	72
6.3.1	Netzeinstellungen	73
6.3.2	Lokale Netzsteuerung	75
6.3.3	Allgemeine Richtlinien für die Netzerstellung	76
6.3.4	Netzgenerierungen und Simulationen mit dünnen Bauteilen	78
6.4	Abhängigkeiten, Einspannungen	78
6.5	Lasten und Lastangriffsfälle	79
6.5.1	Lastarten	79
6.5.2	Lastangriffsfälle	80
6.6	Beispiel einer einfachen vollständigen FE-Analyse	88
6.6.1	Das Bauteil und seine Eigenschaften	88
6.6.2	Funktion des Bauteils	90
6.6.3	Die erste Simulation erstellen	90
6.6.4	Das Bauteil einspannen	91
6.6.5	Trennen von Bauteilflächen	91
6.6.6	Das Bauteil belasten	92
6.6.7	Das Bauteilnetz	93
6.6.8	Simulation ausführen	94
6.6.9	Anpassung der Gestalt (Gestaltfestigkeit)	97
6.6.10	Materialanpassung	98
6.6.11	Hauptspannungen	99
6.6.12	Verformung, Verschiebung	100
6.6.13	Rückstoßkräfte, Lagerkräfte	102
6.6.14	Ergebnisprotokoll	102
6.6.15	Bericht	103

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	118
8.4	Parametrische Ergebnisse	119
8.5	Das Modell anpassen	121
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	138
11.3	Frequenzermittlung iterativ	139
11.4	Frequenzermittlung mit parametrischer Tabelle	140
12	FEM an Schweißbaugruppen	145
12.1	Erstes Beispiel	145
12.1.1	Die Baugruppe	145
12.1.2	Die Schweißverbindung	146
12.1.3	Die Vorbereitung der Belastungssimulation	147
12.1.4	Kontakte überprüfen	148
12.1.5	Die Simulation	150

12.2 Zweites Beispiel	151
12.2.1 Die Schweißkonstruktion	151
12.2.2 Simulation vorbereiten	152
12.2.3 Kontakte kontrollieren	153
12.2.4 Die Simulation	154
12.2.5 Sicherheitsfaktor	156
12.3 Punktschweißen	156
12.3.1 Die Punktschweißung im Beispiel	157
12.3.2 Die Simulation vorbereiten	157
12.3.3 Kontakte bearbeiten	158
12.3.4 Die Simulation	158
13 Einfache Bewegungssimulationen	161
13.1 Baugruppen von Hand bewegen	161
13.2 Automatische Bewegung in der Baugruppe	162
13.3 Bewegung in der Präsentation	164
13.3.1 Eine Präsentation erstellen	164
13.3.2 Die automatische Explosionsmethode	165
13.3.3 Die manuelle Explosion	166
13.4 Die Präsentationsanimation von Schrauben	167
13.4.1 Eine neue Präsentation erstellen	168
13.4.2 Komponentenpositionen	168
13.4.3 Die Schraubenbewegung animieren – der Film geht ab	170
13.5 Bewegung im Inventor Studio	172
13.5.1 Die Inventor Studio-Arbeitsumgebung	173
13.6 Beispiel einer Studio-Animation	177
13.6.1 Vorbereitung der Animation	177
13.6.2 Abhängigkeit animieren	178
13.6.3 Die Ablaufsteuerung	180
13.6.4 Animation aufzeichnen	181
14 Bauteil- bzw. Baugruppenvereinfachung	183
14.1 Beispiel: Kurbeltrieb	183
14.2 Detailgenauigkeit erstellen	184
14.3 Bauteile mit vereinfachtem Bauteil ersetzen	186
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	192
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.....	194
15.3	Bewegliche Gruppen einfärben	196
15.4	Beschreibung der Gelenkkarten	197
15.4.1	Normgelenk.....	198
15.4.2	Abhängigkeiten und Gelenke.....	198
15.4.3	Vordefinierte Gelenke	200
15.5	Gelenkeinfügungsarten	202
15.5.1	Gelenkeinfügung von Hand: die Funktion Gelenk einfügen	202
15.5.2	Gelenk aus Abhängigkeit erzeugen: die Funktion Abhängigkeiten ableiten.....	207
15.5.3	Automatische Gelenkdefinition	208
15.6	Eigenschaften der Normverbindung bearbeiten	210
15.6.1	Registerkarte Allgemein.....	210
15.6.2	Registerkarte Freiheitsgrad x (R/T)	212
15.7	Gelenkkräfte, Steifigkeit und Dämpfung	213
15.7.1	Nichts ist starr – alles ist Gummi!	213
15.7.2	Steifigkeit und Dämpfung – der Sprungbretteffekt	213
15.7.3	Inventor ist ein Starrkörpersystem	214
15.7.4	Inventor ist elastisch?	214
15.7.5	Steifigkeit	215
15.7.6	Dämpfung	216
15.8	Gelenkeigenschaften	216
15.8.1	Anfangsbedingungen bearbeiten	217
15.8.2	Gelenkdrehmoment bzw. Gelenkkraft bearbeiten	218
15.8.3	Festgelegte Bewegung bearbeiten.....	219
15.9	Das Eingabediagramm.....	219
15.9.1	Die Diagrammfläche	220
15.9.2	Sektor-Optionen	220
15.9.3	Start- und Endpunkt	221
15.9.4	Funktionsdefinitionen speichern und laden	222
15.9.5	Referenzachsen bestimmen	222
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	234
17.5	Nullpunktverschiebung	236
17.6	Darstellungs- und Wertegenauigkeit	237
17.7	Diagramm und Werte nach Excel exportieren	237
18	Fliehkraftregler	239
18.1	Die Baugruppenabhängigkeiten	240
18.2	Baugruppe bewegen	243
18.3	Die dynamische Simulation	244
18.3.1	Überbestimmungen	244
18.3.2	Der Objektbrowser	245
18.4	Der Antrieb	245
18.4.1	Antriebsmoment	246
18.4.2	Dämpfung	247
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	252
18.8.2	Schwingungen untersuchen	253
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	261
18.12.4	Überbestimmte Bauteile heilen	262
18.12.5	In die Belastungsanalyse wechseln	263
18.12.6	Die Belastungsanalysen	264
18.12.7	Fazit	266

19	Spielerei mit einem Ball	269
19.1	Die Bauteile und die Konstruktion	269
19.2	Die Simulationsumgebung	271
19.2.1	Feder einfügen	271
19.2.2	Schwerkraft definieren	272
19.2.3	Der Ball benötigt Gelenke	272
19.2.4	Der Objektbrowser	274
19.3	Die Simulation	275
19.3.1	Starres Abprallen	276
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	285
20.9	Schwerkraft und Reibung	285
20.9.1	Schwerkraft	285
20.9.2	Reibungswerte und Kraftübertragung	286
20.9.3	Beidseitige Kraftübertragung an der Schwinge	286
20.9.4	Gelenkreibungen der Drehgelenke	287
20.9.5	Startposition	288
20.10	Die dritte Simulation und das Ausgabediagramm	289
20.10.1	Das Ausgabediagramm	289
20.11	Externe Kraft einfügen	291
20.12	Die vierte Simulation und das Ausgabediagramm	292
20.13	Spur aufzeichnen	294
21	Schiebevorrichtung	297
21.1	Die Bauteile	297
21.2	Die Funktion	298
21.3	Gelenke einfügen	299
21.3.1	Zylindrisches Schiebegelenk	299

21.3.2 Punkt-Ebene-Gelenk	300
21.3.3 Druckfeder	301
21.4 Die erste Simulation	303
21.5 Status des Mechanismus	303
21.6 Redundante Abhängigkeiten	305
21.6.1 Redundanz hinzufügen	305
21.6.2 Redundanz untersuchen	306
21.7 Gelenkdrehmoment aktivieren	307
21.8 Die zweite Simulation	308
21.9 Externe Belastung	310
21.9.1 Externe Kraft definieren	310
21.9.2 Antriebsmoment anpassen	311
21.9.3 Die dritte Simulation	311
21.9.4 Das Ausgabediagramm	312
21.10 Export nach FEM	313
21.11 Die FE-Analyse der Schwinge	313

22 Kurbeischwinge, die Dritte317

22.1 Die Bauteile	317
22.2 Die Baugruppe	318
22.3 Die Simulationsumgebung	318
22.4 Gelenke einfügen	319
22.4.1 Räumliches Gelenk	319
22.4.2 3D-Kontakte	320
22.5 Reibung definieren	321
22.6 Die Simulation	322

23 Hubkolben-Triebwerk323

23.1 Die Baugruppe	323
23.2 Die Simulationsumgebung	324
23.3 Untersuchung der Redundanz	325
23.3.1 Status des Mechanismus	326
23.3.2 Schwerkraft definieren	327
23.3.3 Gelenke überprüfen und bearbeiten	327
23.4 Die erste Simulation	332
23.5 Zweites Beispiel: Antrieb durch den Kolben	333
23.5.1 Externe Kraft wirken lassen	333
23.5.2 Externe Kraft definieren	334
23.5.3 Kraft im Eingabediagramm definieren	335
23.6 Die zweite Simulation	337
23.6.1 Das Ausgabediagramm	337

23.7 Beispiel: Verbrennungsmotor	338
23.7.1 Lastmoment hinzufügen.....	338
23.7.2 Zyklischen Antrieb hinzufügen.....	339
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.....	346
23.9.2 Die FE-Analyse des Kolbens.....	347
Index.....	349