

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	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
<b>2</b>	<b>Digital Prototyping und Produktdesign</b>	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
<b>3</b>	<b>Bauteilanalysen</b>	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

<b>5.7</b>	<b>Problematische Materialien in der FEM</b>	58
5.7.1	Beispiel: Silentblock	58
5.7.2	Material ohne Kennwerte	59
<b>5.8</b>	<b>Nicht in der FE-Analyse verwendbare Werkstoffe</b>	62
5.8.1	Polymere Werkstoffe	62
5.8.2	Verbundwerkstoffe	62
<b>5.9</b>	<b>Bauteile mit großen Verformungen</b>	64
<b>6</b>	<b>FEM</b>	65
<b>6.1</b>	<b>FEM, allgemein</b>	65
<b>6.2</b>	<b>Konvergenz</b>	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
<b>6.3</b>	<b>Das FEM-Netz</b>	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
<b>6.4</b>	<b>Abhängigkeiten, Einspannungen</b>	78
<b>6.5</b>	<b>Lasten und Lastangriffsfälle</b>	79
6.5.1	Lastarten	79
6.5.2	Lastangriffsfälle	80
<b>6.6</b>	<b>Beispiel einer einfachen vollständigen FE-Analyse</b>	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

<b>7</b>	<b>Rückstoßkraft und Kraftermittlung über Verformungen</b>	107
7.1	Beispiel: Rückstoßkraft ermitteln	107
7.2	Verformungskraft ermitteln	108
7.3	Fehlerbetrachtung	110
<b>8</b>	<b>Parametrische FEM-Studien</b>	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
<b>9</b>	<b>FEM an dünnen Bauteilen</b>	123
9.1	Beispiel: Blechtraverse	123
9.2	Simulation als normaler Körper	124
9.3	Simulation als dünnwandiges Bauteil	125
<b>10</b>	<b>Modal- oder Eigenfrequenzanalyse</b>	129
10.1	Eine Modalanalyse durchführen	129
10.2	Ein zweites Beispiel	132
<b>11</b>	<b>Stimmgabel 440 Hz entwerfen</b>	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
<b>12</b>	<b>FEM an Schweißbaugruppen</b>	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

<b>12.2</b>	<b>Zweites Beispiel</b>	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
<b>12.3</b>	<b>Punktschweißen</b>	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

<b>13</b>	<b>Einfache Bewegungssimulationen</b>	161
<b>13.1</b>	<b>Baugruppen von Hand bewegen</b>	161
<b>13.2</b>	<b>Automatische Bewegung in der Baugruppe</b>	162
<b>13.3</b>	<b>Bewegung in der Präsentation</b>	164
13.3.1	Eine Präsentation erstellen	164
13.3.2	Die automatische Explosionsmethode	165
13.3.3	Die manuelle Explosion	166
<b>13.4</b>	<b>Die Präsentationsanimation von Schrauben</b>	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
<b>13.5</b>	<b>Bewegung im Inventor Studio</b>	172
13.5.1	Die Inventor Studio-Arbeitsumgebung	173
<b>13.6</b>	<b>Beispiel einer Studio-Animation</b>	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

<b>14</b>	<b>Bauteil- bzw. Baugruppenvereinfachung</b>	183
<b>14.1</b>	<b>Beispiel: Kurbeltrieb</b>	183
<b>14.2</b>	<b>Detailgenauigkeit erstellen</b>	184
<b>14.3</b>	<b>Bauteile mit vereinfachtem Bauteil ersetzen</b>	186

<b>15</b>	<b>Die dynamische Simulationsumgebung</b>	189
<b>15.1</b>	<b>Die Arbeitsumgebung</b>	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
<b>15.2</b>	<b>Der Objektbrowser in der dynamischen Simulation .....</b>	<b>194</b>
<b>15.3</b>	<b>Bewegliche Gruppen einfärben .....</b>	<b>196</b>
<b>15.4</b>	<b>Beschreibung der Gelenkarten .....</b>	<b>197</b>
15.4.1	Normgelenk.....	198
15.4.2	Abhängigkeiten und Gelenke.....	198
15.4.3	Vordefinierte Gelenke .....	200
<b>15.5</b>	<b>Gelenkeinfügungsarten .....</b>	<b>202</b>
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
<b>15.6</b>	<b>Eigenschaften der Normverbindung bearbeiten .....</b>	<b>210</b>
15.6.1	Registerkarte Allgemein.....	210
15.6.2	Registerkarte Freiheitsgrad x (R/T) .....	212
<b>15.7</b>	<b>Gelenkkräfte, Steifigkeit und Dämpfung .....</b>	<b>213</b>
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
<b>15.8</b>	<b>Gelenkeigenschaften.....</b>	<b>216</b>
15.8.1	Anfangsbedingungen bearbeiten .....	217
15.8.2	Gelenkdrehmoment bzw. Gelenkkraft bearbeiten .....	218
15.8.3	Festgelegte Bewegung bearbeiten.....	219
<b>15.9</b>	<b>Das Eingabediagramm.....</b>	<b>219</b>
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
<b>16</b>	<b>Pendelklappe mit Schwerkraft.....</b>	<b>223</b>
<b>16.1</b>	<b>Die Bauteile und die Baugruppe .....</b>	<b>223</b>
<b>16.2</b>	<b>Die dynamische Simulation starten.....</b>	<b>224</b>
<b>16.3</b>	<b>Schwerkraft definieren.....</b>	<b>225</b>
<b>16.4</b>	<b>Die erste Simulation.....</b>	<b>226</b>
<b>16.5</b>	<b>Einen 3D-Kontakt einfügen .....</b>	<b>227</b>

16.6	Die zweite Simulation .....	228
16.7	Ändern der Pufferdämpfung .....	228
16.8	Drehgelenkeigenschaften einstellen .....	229

<b>17</b>	<b>Das Ausgabediagramm .....</b>	<b>231</b>
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

<b>18</b>	<b>Fliehkraftregler .....</b>	<b>239</b>
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

<b>19</b>	<b>Spielerei mit einem Ball</b>	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

<b>20</b>	<b>Kurbelschwinge</b>	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

<b>21</b>	<b>Schiebevorrichtung</b>	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	<b>Die erste Simulation</b> .....	303
21.5	<b>Status des Mechanismus</b> .....	303
21.6	<b>Redundante Abhängigkeiten</b> .....	305
21.6.1	Redundanz hinzufügen .....	305
21.6.2	Redundanz untersuchen .....	306
21.7	<b>Gelenkdrehmoment aktivieren</b> .....	307
21.8	<b>Die zweite Simulation</b> .....	308
21.9	<b>Externe Belastung</b> .....	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	<b>Export nach FEM</b> .....	313
21.11	<b>Die FE-Analyse der Schwinge</b> .....	313

## **22 Kurbeischwinge, die Dritte** .....

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

## **23 Hubkolben-Triebwerk** .....

23.1	<b>Die Baugruppe</b> .....	323
23.2	<b>Die Simulationsumgebung</b> .....	324
23.3	<b>Untersuchung der Redundanz</b> .....	325
23.3.1	Status des Mechanismus .....	326
23.3.2	Schwerkraft definieren .....	327
23.3.3	Gelenke überprüfen und bearbeiten .....	327
23.4	<b>Die erste Simulation</b> .....	332
23.5	<b>Zweites Beispiel: Antrieb durch den Kolben</b> .....	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	<b>Die zweite Simulation</b> .....	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