



Inhaltsverzeichnis

Günter Scheuermann

Simulationen mit Inventor

FEM und dynamische Simulation Grundlagen und Beispiele ab Version
2011

ISBN: 978-3-446-42365-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42365-7>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

1	Einführung	11			
1.1	Autodesk Inventor Simulation	11	3.3	Fläche, Gauß-Analyse, Gauß'sche Flächenkrümmung	27
1.2	Die Grenzen der Simulation.....	12	3.4	Schnitt, Querschnittsanalyse	28
1.3	Was fehlt	13	3.5	Krümmungsanalyse, Krümmungskammanalyse.....	29
1.4	Inventor-Schnittstellen.....	13			
1.4.1	Importformate.....	14	4	Technische Mechanik, Festigkeitslehre und Inventor	31
1.4.2	Exportformate.....	14	4.1	Statik.....	31
1.5	Inventor für Schüler und Studenten.....	15	4.2	Freiheitsgrade	32
1.5.1	Inventor kostenlos?.....	16	4.3	Freiheitsgrade überprüfen	34
1.6	Systemvoraussetzungen	16	4.3.1	Anzeige der Freiheitsgrade	34
1.6.1	Hinweise zur Installation	16	4.3.2	Freiheitsgrad-Analyse.....	35
1.6.2	Hardware	16	4.4	Gelenke	36
1.6.3	Betriebssysteme	17	4.4.1	Inventor-Gelenke.....	37
1.6.4	Sonstige Anforderungen	17	4.5	Reibung.....	38
1.7	Voraussetzungen für Anwender.....	17	4.6	Kinematik	38
1.8	DVD zum Buch	17	4.7	Dynamik	40
1.9	Resümee.....	18	4.7.1	Schwerkraft, Gravitation.....	40
			4.7.2	Masse, Gewichtskraft, Trägheitsmomente.....	40
2	Digital Prototyping und Produktdesign 19		4.7.3	Gelenkkräfte und -momente.....	41
2.1	Virtuelle 3D-Modelle	19	4.7.4	Simulation.....	42
2.2	Herstellung von Prototypen, Rapid Prototyping	20	4.7.5	Export nach FEM.....	42
2.3	Produktoptimierung.....	21	4.7.6	Schwingungen, Eigenfrequenz, Resonanz, Modalanalyse	43
2.3.1	Flächen- bzw. Formoptimierung.....	21	4.8	Festigkeitslehre und FEM-Ergebnisse.....	45
2.3.2	Berechnungen	22	4.8.1	Festigkeitshypothesen.....	46
2.3.3	Dynamische Simulation	22	4.8.2	Spannungen	47
3	Bauteilanalysen.....	23	4.8.3	Verformungen.....	48
3.1	Zebra-Analyse	25			
3.2	Entwurf, Verjüngungsanalyse	26			

4.8.4	Sicherheitsfaktoren, Belastung, Dehnung	48	6	Parametrische FEM-Studien	81
4.8.5	Kontaktdruck	49	6.1	Das parametrische Bauteil.....	81
4.8.6	Knicken und Beulen.....	49	6.2	Vorbereitung der parametrischen FE-Analyse.....	82
4.9	Grenzen der Inventor-Mechanik	50	6.2.1	Die parametrische Tabelle	82
5	FEM.....	53	6.3	Die parametrische Simulation	87
5.1	FEM, allgemein.....	53	6.4	Parametrische Ergebnisse.....	87
5.2	Konvergenz	54	6.5	Das Modell anpassen	89
5.2.1	Max. Anzahl der H-Verfeinerungen ...	54	7	Modal- oder Eigenfrequenzanalyse.....	91
5.2.2	Stopp-Bedingung	55	7.1	Eine Modalanalyse durchführen	91
5.2.3	Schwellenwert für H-Verfeinerungen..	55	7.2	Ein zweites Beispiel.....	93
5.2.4	Konvergenz-Plots	55	8	Stimmgabel 440 Hz entwerfen.....	95
5.3	Das FEM-Netz	56	8.1	Die Konstruktion	95
5.3.1	Netzeinstellungen.....	57	8.2	Die Belastungsanalyse	96
5.3.2	Lokale Netzsteuerung.....	59	8.2.1	Netzverfeinerung.....	97
5.3.3	Allgemeine Richtlinien für die Netzerstellung	60	8.2.2	Die erste Simulation.....	97
5.4	Erstes Beispiel einer einfachen FE-Analyse	61	8.3	Frequenzermittlung iterativ	98
5.4.1	Das Bauteil und seine Eigenschaften...	62	8.4	Frequenzermittlung mit parametrischer Tabelle.....	100
5.4.2	Die erste Simulation.....	63	9	FEM an Schweißbaugruppen	103
5.4.3	Abhängigkeiten, Einspannung	64	9.1	Erstes Beispiel	103
5.4.4	Lasten.....	66	9.1.1	Die Baugruppe	103
5.4.5	Das Netz.....	68	9.1.2	Die Schweißverbindung	104
5.4.6	Simulation ausführen	69	9.1.3	Die Vorbereitung der Belastungssimulation.....	106
5.4.7	Materialanpassung	71	9.1.4	Kontakte überprüfen.....	106
5.4.8	Hauptspannungen	73	9.1.5	Die Simulation	108
5.4.9	Verformung, Verschiebung.....	74	9.2	Zweites Beispiel	109
5.4.10	Rückstoßkräfte, Lagerkräfte	75	9.2.1	Die Schweißkonstruktion	109
5.4.11	Ergebnisprotokoll	76	9.2.2	Simulation vorbereiten.....	110
5.4.12	Bericht	77	9.2.3	Kontakte kontrollieren.....	111

9.2.4	Die Simulation.....	113	11.3.2	Die automatische Explosionsmethode	141
9.2.5	Sicherheitsfaktor.....	114	11.3.3	Die manuelle Explosion.....	142
9.3	Punktschweißen.....	114	11.4	Die Präsentationsanimation von Schrauben.....	143
9.3.1	Die Punktschweißung im Beispiel.....	115	11.4.1	Eine neue Präsentation erstellen.....	144
9.3.2	Die Simulation vorbereiten.....	116	11.4.2	Komponentenpositionen	144
9.3.3	Kontakte bearbeiten.....	116	11.4.3	Die Schraubenbewegung animieren, der Film geht ab.....	146
9.3.4	Die Simulation.....	117	11.5	Bewegung im Inventor Studio.....	149
10	Die Materialbibliothek.....	119	11.5.1	Die Inventor Studio- Arbeitsumgebung.....	149
10.1	Der Stil- und Normen-Editor.....	119	11.6	Beispiel einer Studio-Animation.....	153
10.2	Material.....	120	11.6.1	Vorbereitung der Animation	154
10.2.1	Übersicht.....	120	11.6.2	Abhängigkeit animieren.....	154
10.2.2	Werkstoffkennwerte und Einheiten..	121	11.6.3	Die Ablaufsteuerung	156
10.2.3	Farbstil der Werkstoffe.....	122	11.6.4	Animation aufzeichnen.....	157
10.3	Import und Export von Stilen	122	12	Die dynamische Simulationsumgebung	159
10.4	Ein neues Material einfügen.....	123	12.1	Die Arbeitsumgebung.....	159
10.4.1	Die Stilbibliothek bearbeiten	125	12.1.1	Funktionsgruppe Verbindung.....	159
10.5	Farbstile editieren.....	126	12.1.2	Funktionsgruppe Laden.....	160
10.6	Beleuchtungen einstellen	128	12.1.3	Funktionsgruppe Ergebnisse.....	160
10.7	Bewegung im Inventor Studio.....	129	12.1.4	Funktionsgruppe Animieren.....	161
10.8	Problematische Materialien in der FEM	129	12.1.5	Funktionsgruppe Verwalten.....	162
10.8.1	Beispiel Silentblock.....	129	12.1.6	Funktionsgruppe Belastungsanalyse	162
10.9	Nicht in der FE-Analyse verwendbare Werkstoffe	131	12.1.7	Funktionsgruppe Beenden	163
10.9.1	Polymere Werkstoffe.....	133	12.2	Der Objektbrowser in der dynamischen Simulation.....	163
10.9.2	Verbundwerkstoffe.....	134	12.3	Bewegliche Gruppen einfärben	166
10.10	Bauteile mit großen Verformungen..	135	12.4	Beschreibung der Gelenkarten.....	167
11	Einfache Bewegungssimulationen.....	137	12.4.1	Normgelenk.....	168
11.1	Baugruppen von Hand bewegen.....	137	12.4.2	Abhängigkeiten und Gelenke	168
11.2	Automatische Bewegung in der Baugruppe	138	12.4.3	Vordefinierte Gelenke.....	171
11.3	Bewegung in der Präsentation	140	12.5	Gelenkeinfügungsarten	172
11.3.1	Eine Präsentation erstellen.....	140			

12.5.1	Gelenkeinfügung von Hand, die Funktion Gelenk einfügen	173	13.4	Die erste Simulation.....	195
12.5.2	Gelenk aus Abhängigkeit erzeugen, die Funktion Abhängigkeiten ableiten ...	177	13.5	Einen 3D-Kontakt einfügen.....	196
12.5.3	Automatische Gelenkdefinition.....	178	13.6	Die zweite Simulation.....	197
12.6	Eigenschaften der Normverbindung bearbeiten.....	180	13.7	Ändern der Pufferdämpfung.....	198
12.6.1	Registerkarte Allgemein	181	13.8	Drehgelenkeigenschaften einstellen	198
12.6.2	Registerkarte Freiheitsgrad x (R/T) ...	183	13.9	Das Ausgabediagramm.....	199
12.7	Gelenkkräfte, Steifigkeit und Dämpfung.....	184	13.9.1	Die Oberfläche des Ausgabediagramms.....	200
12.7.1	Nichts ist starr.....	184	13.9.2	Diagrammoptionen	200
12.7.2	Steifigkeit und Dämpfung - der Sprungbretteneffekt	184	13.9.3	Variable anzeigen.....	201
12.7.3	Inventor ist ein Starrkörpersystem ...	185	13.9.4	Eine zweite Variable überlagern	202
12.7.4	Inventor ist elastisch?.....	185	13.9.5	Eine neue Kurve erzeugen.....	204
12.7.5	Steifigkeit	186	13.9.6	Darstellungs- und Wertegenauigkeit	205
12.7.6	Dämpfung.....	186	13.9.7	Diagramm und Werte nach Excel exportieren.....	205
12.8	Gelenkeigenschaften.....	187	14	Fliehkraftregler.....	207
12.8.1	Anfangsbedingungen bearbeiten	188	14.1	Die Baugruppe	208
12.8.2	Gelenkdrehmoment bzw. Gelenkkraft bearbeiten.....	188	14.2	Baugruppe bewegen.....	211
12.8.3	Festgelegte Bewegung bearbeiten	189	14.3	Die dynamische Simulation.....	212
12.9	Das Eingabediagramm.....	189	14.3.1	Überbestimmungen	212
12.9.1	Die Diagrammfläche	190	14.3.2	Der Objektbrowser.....	213
12.9.2	Sektor-Optionen	191	14.4	Der Antrieb.....	214
12.9.3	Start- und Endpunkt.....	192	14.4.1	Antriebsmoment.....	214
12.9.4	Funktionsdefinitionen speichern und laden	192	14.4.2	Dämpfung.....	215
12.9.5	Referenzachsen bestimmen.....	192	14.4.3	Reibung215	
13	Pendelklappe mit Schwerkraft.....	193	14.5	Die Vertikalbewegung der unteren Gleitbuchse.....	215
13.1	Die Bauteile und die Baugruppe.....	193	14.5.1	Die Rotation	217
13.2	Die dynamische Simulation starten.....	194	14.6	Andere Gelenke mit Reibwerten versehen.....	217
13.3	Schwerkraft definieren	195	14.7	Die Simulation.....	219
			14.8	Das Ausgabediagramm.....	220
			14.8.1	Rotationsgeschwindigkeit interpretieren	221

14.8.2	Schwingungen untersuchen.....	222	16.6	Die erste Simulation.....	252
14.9	Feder einfügen.....	222	16.7	Schiebegelenk einfügen.....	253
14.10	Simulation mit eingebauter Feder....	227	16.8	Die zweite Simulation.....	254
14.11	Kurven im Ausgabediagramm bearbeiten.....	227	16.9	Schwerkraft und Reibung	254
14.12	Export nach FEM und FE-Analyse von Bauteilen.....	228	16.9.1	Schwerkraft.....	254
14.12.1	Die Vorbereitung.....	228	16.9.2	Reibungswerte und Kraftübertragung	255
14.12.2	Zeitschritt auswählen.....	229	16.9.3	Beidseitige Kraftübertragung an der Schwinge	255
14.12.3	Bauteile zur FE-Analyse auswählen .	230	16.9.4	Gelenkreibungen der Drehgelenke....	256
14.12.4	Überbestimmte Bauteile heilen.....	231	16.9.5	Startposition.....	256
14.12.5	In die Belastungsanalyse wechseln...	232	16.10	Die dritte Simulation und das Ausgabediagramm	257
14.12.6	Die Belastungsanalysen.....	233	16.10.1	Das Ausgabediagramm.....	258
14.12.7	Fazit	236	16.11	Externe Kraft einfügen.....	260
15	Spielerei mit einem Ball	237	16.12	Die vierte Simulation und das Ausgabediagramm	261
15.1	Die Bauteile und die Konstruktion.....	237	16.13	Spur aufzeichnen.....	264
15.2	Die Simulationsumgebung.....	239	17	Kurbelschwinge-Schiebevorrichtung ..	267
15.2.1	Feder einfügen.....	239	17.1	Die Bauteile.....	267
15.2.2	Schwerkraft definieren	240	17.2	Die Funktion	268
15.2.3	Der Ball benötigt Gelenke	240	17.3	Gelenke einfügen	269
15.2.4	Der Objektbrowser.....	242	17.3.1	Zylindrisches Schiebegelenk.....	269
15.3	Die Simulation.....	243	17.3.2	Punkt-Ebene-Gelenk.....	269
15.3.1	Starres Abprallen.....	244	17.3.3	Druckfeder.....	271
16	Kurbelschwinge.....	245	17.4	Die erste Simulation.....	273
16.1	Die Funktion	245	17.5	Status des Mechanismus	274
16.2	Die Bauteile.....	246	17.6	Redundante Abhängigkeiten	276
16.3	Die Abhängigkeiten	248	17.6.1	Redundanz hinzufügen.....	276
16.4	Nach Abhängigkeit bewegen.....	249	17.6.2	Redundanz untersuchen	277
16.5	Vorbereitung der Simulation.....	250	17.7	Gelenkdrehmoment aktivieren	278
16.5.1	Nichts geht mehr.....	250	17.8	Die zweite Simulation.....	279
16.5.2	Geht doch!.....	251	17.9	Externe Belastung	280
16.5.3	Der Antrieb.....	251	17.9.1	Externe Kraft definieren.....	281

17.9.2	Antriebsmoment anpassen.....	281	19.5.1	Das Ausgabediagramm.....	303
17.9.3	Die dritte Simulation	282	19.6	Lastmoment hinzufügen.....	304
17.9.4	Das Ausgabediagramm.....	282	19.7	Kraftkomponenten auswerten	305
17.10	Export nach FEM.....	283	19.8	Variante mit Feder	306
17.11	Die FE-Analyse der Schwinge	284	19.8.1	Festgelegte Bewegung aktivieren.....	306
18	Kurbelschwinge, die Dritte	287	19.8.2	Feder einfügen.....	307
18.1	Die Bauteile	287	19.9	Die dritte Simulation	308
18.2	Die Baugruppe	288	19.10	Das Ausgabediagramm.....	308
18.3	Die Simulationsumgebung.....	288	19.11	Export nach FEM.....	309
18.4	Gelenke einfügen.....	289	19.12	Die FE-Analyse der Kurbelwelle.....	310
18.4.1	Räumliches Gelenk.....	289	19.13	Kolben exportieren.....	311
18.4.2	3D-Kontakte.....	289	19.14	Die FE-Analyse des Kolbens.....	313
18.5	Reibung definieren.....	290	19.14.1	Netzeinstellungen verändern.....	314
18.6	Die Simulation.....	292	19.14.2	Maximalspannung suchen	314
19	Hubkolben-Triebwerk.....	293	19.14.3	Verformungen des Kolbens.....	315
19.1	Die Baugruppe	293	Index	317	
19.2	Die Simulationsumgebung.....	294			
19.2.1	Schwerkraft definieren	295			
19.2.2	Gelenke überprüfen und bearbeiten .	295			
19.2.3	Gelenk Zylindrisch:1, Zylinder – Kolben	296			
19.2.4	Gelenk Drehung:2, Rillenkugellager – Kurbelwelle.....	297			
19.2.5	Gelenke an den Sicherungsringen	298			
19.2.6	Gelenke am Pleuel.....	298			
19.3	Die erste Simulation.....	299			
19.4	Antrieb durch den Kolben.....	300			
19.4.1	Externe Kraft wirken lassen.....	300			
19.4.2	Externe Kraft definieren.....	300			
19.4.3	Kraft im Eingabediagramm definieren	301			
19.5	Die zweite Simulation.....	303			