

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>		
<b>1</b>	<b>2 D: Zeichnen am elektronischen Reißbrett</b> .....	<b>11</b>	
<b>1.1</b>	<b>Koordinatensysteme in der Fläche</b> .....	<b>12</b>	
1.1.1	Das kartesische Koordinatensystem .....	12	
1.1.2	Polarkoordinaten .....	15	
1.1.3	Verschiebbare Koordinatensysteme .....	16	
<b>1.2</b>	<b>Einheiten im Koordinatensystem</b> .....	<b>16</b>	
1.2.1	Längeneinheiten .....	17	
1.2.2	Winkeleinheiten .....	18	
<b>1.3</b>	<b>Zeichenelemente</b> .....	<b>18</b>	
1.3.1	Linien .....	18	
1.3.1.1	Konstruktionslinien .....	18	
1.3.1.2	Polylinien .....	19	
1.3.1.3	Mehrteilige Linien .....	19	
1.3.2	Kreise .....	20	
1.3.2.1	Radius .....	20	
1.3.2.2	Durchmesser.....	20	
1.3.2.3	Zwei Punkte .....	21	
1.3.2.4	Drei Punkte .....	21	
1.3.2.5	Zwei Tangenten und ein Radius .....	22	
1.3.2.6	Drei Tangenten .....	23	
1.3.3	Bogen .....	23	
1.3.3.1	Drei Punkte auf dem Radius (3P) .....	23	
1.3.3.2	Startpunkt, Zentrum, Endpunkt (SZE) .....	24	
1.3.3.3	Startpunkt, Zentrum, Winkel (SZW) .....	24	
1.3.3.4	Startpunkt, Zentrum, Sehnenlänge (SZSe) .....	24	
1.3.3.5	Startpunkt, Endpunkt, Winkel (SEW) .....	24	
1.3.3.6	Startpunkt, Endpunkt, Richtung (SERi) .....	25	
1.3.3.7	Startpunkt, Endpunkt, Radius (SER) .....	25	
1.3.3.8	Zentrum, Startpunkt, Endpunkt (ZSE) .....	25	
1.3.3.9	Zentrum, Startpunkt, Winkel (ZSW) .....	26	
1.3.3.10	Zentrum, Startpunkt, Sehnenlänge (ZSSe) .....	26	
1.3.4	Ellipsen und elliptische Bogen .....	26	
1.3.4.1	Isometrischer Kreis .....	27	
1.3.4.2	Ellipsenbogen .....	27	
1.3.5	Polygone .....	28	
1.3.6	Splines .....	29	
1.3.7	Punktobjekte .....	30	
1.3.8	Textobjekte .....	30	
<b>1.4</b>	<b>Zeichenhilfen</b> .....	<b>30</b>	
1.4.1	Raster .....	31	
1.4.2	Funktion Fang .....	32	
1.4.2.1	Polarer Fang .....	32	
1.4.3	Objektfang .....	33	
1.4.3.1	Endpunkt .....	33	
1.4.3.2	Mittelpunkt .....	34	
1.4.3.3	Schnittpunkt .....	35	
1.4.3.4	Erweiterung .....	36	
1.4.3.5	Zentrum .....	36	
1.4.3.6	Quadrant .....	37	
1.4.3.7	Tangente .....	38	
1.4.3.8	Lotrecht .....	40	
1.4.3.9	Parallele .....	41	
1.4.3.10	Basispunkt .....	42	
1.4.3.11	Punkt .....	42	
1.4.3.12	Nächster .....	43	
1.4.3.13	Temporärer Spurpunkt .....	43	
1.4.3.14	Ausgangspunkt .....	44	
1.4.4	Polarfang und Objektspur .....	45	
1.4.4.1	Polarfang .....	45	
1.4.4.2	Objektspur .....	46	
<b>1.5</b>	<b>Modifikatoren</b> .....	<b>47</b>	
1.5.1	Löschen .....	47	
1.5.2	Verschieben .....	47	
1.5.3	Drehen .....	48	
1.5.4	Skalieren .....	49	
1.5.5	Zentrische Streckung .....	50	
1.5.6	Kopieren .....	50	
1.5.7	Spiegeln .....	51	

1.5.8	Stützen und Dehnen .....	52	2.3.1.2	Geometrische Beziehungen .....	88
1.5.9	Aufbrechen .....	53	2.3.1.3	Beziehungen in Kombination .....	101
1.5.10	Radius und Fase .....	53	2.3.2	Die dritte Dimension:	
1.5.10.1	Radius .....	53		Strukturelle Features .....	102
1.5.10.2	Fase .....	54	2.3.2.1	Lineare Extrusion .....	102
<b>1.6</b>	<b>Zusammengesetzte Objekte .....</b>	<b>54</b>	2.3.2.2	Extrudierter Schnitt .....	104
1.6.1	Schraffuren .....	54	2.3.2.3	Rotation .....	105
1.6.1.1	Assoziative Schraffuren .....	55	2.3.2.4	Rotierter Schnitt .....	106
1.6.1.2	Inseln .....	55	2.3.2.5	Nichtlineare Extrusion, Austragung .....	106
1.6.1.3	Füllungen .....	59	2.3.2.6	Loft, Ausformung .....	108
1.6.2	Blöcke .....	60	2.3.3	Additive Features .....	110
1.6.3	Anordnung .....	61	2.3.3.1	Abrundung, Radius .....	111
1.6.3.1	Rechteckige Anordnung .....	61	2.3.3.2	Fase .....	116
1.6.3.2	Polare Anordnung .....	62	2.3.3.3	Bohrungen .....	118
1.6.4	Regionen .....	64	2.3.3.4	Formschrägen .....	120
1.6.5	Bemaßung .....	65	2.3.3.5	Wandstärke .....	121
1.6.5.1	Lineare Bemaßung .....	66	2.3.3.6	Verstärkungsrippen .....	123
1.6.5.2	Parallel oder Basislinie .....	66	2.3.3.7	Gummihaut oder Form .....	124
1.6.5.3	Steigendes oder Kettenmaß .....	67	2.3.4	Muster im Raum .....	125
1.6.5.4	Koordinatenbemaßung .....	68	2.3.4.1	Polare Anordnung .....	125
1.6.5.5	Radius .....	68	2.3.4.2	Rechteckige Anordnung .....	127
1.6.5.6	Durchmesser .....	69	2.3.4.3	Kurvengesteuerte Anordnung .....	128
1.6.5.7	Winkel .....	69	2.3.4.4	Spiegeln .....	129
1.6.5.8	Toleranzangaben .....	69	2.3.5	Boole'sche Operation .....	130
1.6.5.9	Assoziative Bemaßung .....	70	2.3.5.1	Vereinigung oder Union .....	130
<b>1.7</b>	<b>Das Layer-Konzept .....</b>	<b>71</b>	2.3.5.2	Differenz oder Subtraktion .....	131
<b>1.8</b>	<b>Bibliotheken und Vorlagen .....</b>	<b>78</b>	2.3.5.3	Schnittmenge .....	131
1.8.1	Symbolbibliotheken .....	78	<b>3</b>	<b>Die Bearbeitung virtueller</b>	
1.8.2	Externe Referenzen .....	79		<b>Bauteile .....</b>	<b>133</b>
1.8.3	Pixelbilder .....	79	<b>3.1</b>	<b>Oberflächen .....</b>	<b>133</b>
1.8.4	Schriftfelder .....	80	3.1.1	Features für Oberflächen .....	134
1.8.4.1	Attribute .....	81	3.1.1.1	Extrusion .....	134
1.8.5	Dokument- und Druckvorlagen .....	81	3.1.1.2	Rotation .....	134
<b>2</b>	<b>3D-Konstruktion: Die Basis .....</b>	<b>83</b>	3.1.1.3	Nichtlineare Extrusion, Austragung .....	135
<b>2.1</b>	<b>Die Vorteile von 3D .....</b>	<b>84</b>	3.1.1.4	Loft, Ausformung .....	136
<b>2.2</b>	<b>Koordinatensysteme .....</b>	<b>85</b>	3.1.1.5	Schneiden mit Oberflächen .....	137
2.2.1	Kartesische Koordinaten .....	85	3.1.1.6	Parallele Fläche, Offsetfläche .....	138
2.2.2	Sphärische oder Kugelkoordinaten .....	86	3.1.1.7	Schnittflächen .....	138
2.2.3	Zylinderkoordinaten .....	86	3.1.1.8	Verlängerung, Erweiterung .....	139
<b>2.3</b>	<b>Bauteile: Virtuelle Körper .....</b>	<b>87</b>	3.1.1.9	Trimmen .....	139
2.3.1	Noch immer 2D: Die Skizze .....	87	3.1.1.10	Ausfüllen .....	140
2.3.1.1	Skizzenbemaßung .....	88	3.1.1.11	Flächen kopieren .....	142
			3.1.1.12	Ersatzfläche .....	142
			3.1.2	Freiflächen, NURBS .....	143

<p>3.1.2.1 Punktflächen .....143</p> <p>3.1.2.2 Kontrollpunktgesteuerte Flächen .....144</p> <p><b>3.2 Bleche .....146</b></p> <p>3.2.1 Konstruktion mit Volumenkörpern .....147</p> <p>3.2.1.1 Schnitte und Fugen .....147</p> <p>3.2.1.2 Freischnitte .....148</p> <p>3.2.1.3 Laschen .....149</p> <p>3.2.1.4 Formgebende Verknüpfungen .....150</p> <p>3.2.1.5 Bauteilfeatures in Blechteilen .....151</p> <p>3.2.1.6 Abwicklung von Blechbauteilen .....151</p> <p>3.2.1.7 Nicht prismatische Körper .....151</p> <p>3.2.2 Konstruktion des Blechkörpers .....152</p> <p>3.2.2.1 Zungen .....153</p> <p>3.2.2.2 Skizzierte Biegekante .....153</p> <p>3.2.2.3 Die Lage der Biegung .....154</p> <p>3.2.2.4 Blechkanten .....155</p> <p><b>3.3 Gussformen .....155</b></p> <p><b>3.4 Steuerung von Features .....157</b></p> <p>3.4.1 Gleichungen .....157</p> <p>3.4.2 Vererbung .....159</p> <p>3.4.3 Unterdrücken von Features .....161</p> <p>3.4.4 Variantenkonstruktion .....162</p> <p><b>3.5 Analyse von Bauteilen und Flächen .....163</b></p> <p>3.5.1 Rendern .....163</p> <p>3.5.2 Zebrastreifen .....164</p> <p>3.5.3 Flächenkrümmung .....165</p> <p><b>4 Endmontage und Bewegungssimulation .....167</b></p> <p><b>4.1 Der Zusammenbau .....167</b></p> <p>4.1.1 Baugruppenverknüpfungen .....169</p> <p>4.1.2 Konstruktion eines Klassikers .....172</p> <p>4.1.2.1 Montage der Lagerböcke .....173</p> <p>4.1.2.2 Verknüpfen der Kurbel .....173</p> <p>4.1.2.3 Kollisionsprüfung .....174</p> <p>4.1.2.4 Editieren im Zusammenbau: Die Top-Down-Methode .....176</p> <p>4.1.2.5 Einbau der Koppel .....177</p> <p>4.1.2.6 Einbau der Schwinge .....177</p> <p><b>4.2 Maschinen in Bewegung .....178</b></p> <p>4.2.1 Kinetische Studien .....179</p> <p>4.2.1.1 Natürliche Eigenschaften eines Körpers .....179</p>	<p>4.2.1.2 Reibung und Lagerreaktionen .....180</p> <p>4.2.1.3 Start der Simulation .....180</p> <p>4.2.1.4 Die Simulation wirft Fragen auf .....181</p> <p>4.2.1.5 Die Doppelkurbel: ein Scheibenwischer- Mechanismus .....190</p> <p>4.2.2 Ein kinetischer Baukasten .....190</p> <p>4.2.2.1 Motoren, und warum sie nicht umlaufen .....191</p> <p>4.2.2.2 Federn, Dämpfer und die Chaostheorie ....196</p> <p>4.2.2.3 Was Federn sonst noch alles können .....197</p> <p>4.2.2.4 Vom Viereck zum Chaospendel .....199</p> <p><b>5 Finite-Elemente-Analyse ..... 201</b></p> <p><b>5.1 FEA: Ein Verfahren stellt sich vor .....201</b></p> <p>5.1.1 FEA = Grafik .....202</p> <p>5.1.2 FEA = Wissenschaft .....202</p> <p>5.1.3 Die Methoden der FEA .....203</p> <p><b>5.2 Spannungsanalyse .....204</b></p> <p>5.2.1 Die Kunst der Frage .....205</p> <p>5.2.2 Kerbwirkung – Achillessehne der Konstruktion .....206</p> <p>5.2.2.1 Eine virtuelle Zerreißprobe .....207</p> <p>5.2.2.2 Kraftströme, sichtbar gemacht .....208</p> <p>5.2.2.3 Kerbwirkung von innen: Die Schnittdarstellung .....209</p> <p>5.2.2.4 Optimieren mit der FEA .....210</p> <p><b>5.3 Thermoanalyse .....211</b></p> <p>5.3.1 Dreißigtausend thermodynamische Gleichungen .....211</p> <p>5.3.2 Isothermische Plots .....212</p> <p>5.3.3 Thermische Spannung .....213</p> <p><b>5.4 Vibrationsanalyse .....214</b></p> <p>5.4.1 Schwingende Wellen .....214</p> <p>5.4.2 Beliebte Resonanzen .....217</p> <p><b>5.5 Programmierte Bauteile .....218</b></p> <p>5.5.1 Optimierung einer Achse .....219</p> <p>5.5.2 Auswertung der Optimierung .....220</p> <p>5.5.3 Wissen und Erfahrung .....222</p> <p><b>6 Von CAD nach CAM ..... 225</b></p> <p><b>6.1 Drehen am Computer .....227</b></p> <p>6.1.1 Vorarbeiten .....228</p> <p>6.1.1.1 Konfiguration des Spannfutters .....228</p>
--	--

6.1.1.2	Definition des Rohteils .....	229
6.1.1.3	Die Referenzpunkte .....	229
6.1.1.4	Material- und Werkzeugparameter .....	230
6.1.2	Die Bearbeitungsfolge .....	231
6.1.2.1	Plandrehen .....	232
6.1.2.2	Abspann längs der Außenkontur .....	233
6.1.2.3	Bahnkorrekturen .....	234
6.1.2.4	Schichten der Außenkontur .....	235
6.1.2.5	Werkzeugersatz .....	236
6.1.2.6	Aufbohren .....	236
6.1.2.7	Abspann der Innenseite .....	239
6.1.2.8	Ein Problem mit dem Rückzug .....	240
6.1.2.9	Werkstück umspannen .....	241
6.1.3	Drehen mit zwei Spindeln .....	243
6.1.3.1	Und wieder: Die Freiheitsgrade .....	244
6.1.4	Zusätzliche Achsen beim Drehen .....	245
6.1.4.1	Bohren mit der C-Achse .....	245
6.1.4.2	Synchronisieren von Arbeitsabläufen .....	247
6.1.4.3	Fräsen mit der Drehmaschine .....	247
6.1.4.4	C ist nicht genug: Die Y-Achse .....	248
6.1.4.5	Schwenkbare Y-Achse: Die B-Achse .....	248
6.1.5	Generalprobe: Der Postprozessor .....	249
6.1.5.1	Der Postprozessor: eine Kostenfrage .....	253
6.1.5.2	Verifizierung von NC-Daten .....	253

## 7 Datenübermittlung .....255

7.1	Datentransfer über Plugins .....	255
7.1.1	Von MCAD nach FEA .....	256
7.1.2	Von CAD nach CAM .....	257
7.1.3	Von CAM nach CNC .....	259
7.1.3.1	Kampf der Sprachen .....	259
7.1.3.2	Verifizierung von NC-Code .....	260
7.2	Normierte Schnittstellen .....	261
7.2.1	ACIS .....	261
7.2.2	Parasolid .....	263
7.2.3	Weitere Formate .....	263
7.2.3.1	IGES .....	263
7.2.3.2	STL .....	263
7.3	Im- und Export von Dateien .....	264

## 8 Hardware: Ein Platz an der Sun ..... 265

8.1	Die Basis .....	265
8.1.1	Arbeitspferd PC .....	265
8.1.2	Speicher .....	266
8.1.3	Die Grafikkarte .....	266
8.2	Der Monitor .....	266
8.3	Eingabegeräte .....	267
8.4	Die Arbeitsumgebung .....	268

## 9 Software: Never Change A Running System! ..... 269

### Farbteil ..... 277

### Literaturverzeichnis ..... 295

### Stichwortverzeichnis ..... 297