

# Computergrafik

Vorlesung gehalten im SS 2000

Oliver Vornberger

Olaf Müller

Fachbereich Mathematik/Informatik  
Universität Osnabrück

## Literatur

- U. Claussen:  
“Programmieren mit OpenGL”, Springer, 1997
- J. Encarnaçãõ, W. Straßer, R. Klein:  
“Graphische Datenverarbeitung 1 + 2”, Oldenbourg Verlag, 1996
- W. D. Fellner:  
“Computergrafik”, BI Wissenschaftsverlag, 1992.
- J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, J. F. Hughes, R. L. Phillips:  
“Grundlagen der Computergraphik”, Addison Wesley, 1994.
- J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner et al:  
“Computer Graphics: Principle and Practice”, Addison Wesley, 2000.
- Fritz Jobst:  
“Programmieren in Java”, Hanser, 1999.
- M. Woo, J. Neider, T. Davis, et al:  
“OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL 1.2”, Addison Wesley, 1999
- J. Zukowski:  
“Java AWT Reference”, O'Reilly, 1997.

## Danksagung

Wir danken ...

- ... Gerda Holmann und Astrid Heinze für sorgfältiges Erfassen des Textes und Erstellen der Grafiken,
- ... Frank M. Thiesing für intensive Mitwirkung an der inhaltlichen Gestaltung der Vorlesung,
- ... Frank Lohmeyer für die Erstellung umfangreicher Java-Software zur Implementation von Beispielapplikationen,
- ... Viktor Herzog für die Konvertierung des Skripts nach HTML.

### HTML-Version

Der Inhalt dieser Vorlesung kann online betrachtet werden unter  
<http://www-lehre.informatik.uni-osnabrueck.de/~cg>

Osnabrück, im Juli 2000

(Oliver Vornberger)

(Olaf Müller)



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>11</b>
1.1	Motivation . . . . .	11
1.2	Definition . . . . .	11
1.3	Anwendungen . . . . .	12
1.4	Kurze Geschichte der Computergrafik . . . . .	12
1.5	Ausgabegeräte . . . . .	13
1.5.1	Soft Copy . . . . .	13
1.5.2	Random Scan versus Raster Scan . . . . .	13
1.5.3	Hardcopy . . . . .	14
1.6	Eingabegeräte . . . . .	14
1.6.1	Technische Klassifizierung der Eingabegeräte . . . . .	14
1.6.2	Logische Klassifizierung der Eingabegeräte . . . . .	14
1.6.3	Eingabetechnik mit der Maus . . . . .	15
1.6.4	Eingabe-Modi . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Grafische Oberflächen und ihre Programmierung</b>	<b>17</b>
2.1	Der Window-Manager . . . . .	17
2.2	Eventhandling . . . . .	18
2.3	Eigene Applikationen . . . . .	18
2.4	Das X-Window-System . . . . .	19
2.4.1	Begriffe . . . . .	19
2.4.2	Architektur . . . . .	20
2.4.3	Ressourcen . . . . .	21
2.5	Beispiele für Widget-Sets . . . . .	22
2.6	Swing . . . . .	24
2.6.1	Java . . . . .	24

2.6.2	Swing-Übersicht . . . . .	26
2.7	Swing-Beispielapplikation . . . . .	30
2.8	Java-Applet . . . . .	32
<b>3</b>	<b>2D-Grundlagen</b>	<b>33</b>
3.1	Koordinatensysteme . . . . .	33
3.2	Linie . . . . .	35
3.2.1	Antialiasing . . . . .	39
3.3	Polygon . . . . .	40
3.4	Kreis . . . . .	40
<b>4</b>	<b>2D-Füllen</b>	<b>45</b>
4.1	Universelle Füll-Verfahren . . . . .	45
4.2	Scan-Line-Verfahren für Polygone . . . . .	49
4.3	Dithering . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Clipping</b>	<b>59</b>
5.1	Clipping von Linien . . . . .	59
5.2	Clipping von Polygonen . . . . .	63
5.3	Beispiel-Applet zu 2D-Operationen . . . . .	66
<b>6</b>	<b>2D-Transformationen</b>	<b>67</b>
6.1	Translation . . . . .	67
6.2	Skalierung . . . . .	67
6.3	Rotation . . . . .	69
6.4	Homogene Koordinaten . . . . .	71
6.5	Allgemeine Transformationen . . . . .	73
6.6	Raster-Transformationen . . . . .	73
<b>7</b>	<b>Kurven</b>	<b>75</b>
7.1	Algebraischer Ansatz . . . . .	75
7.2	Splines . . . . .	75
7.3	Bézier-Kurven . . . . .	79
7.4	B-Splines . . . . .	81
7.5	NURBS . . . . .	83
7.6	Beispiel-Applet zu Splines . . . . .	84

7.7	Macromedia Flash . . . . .	84
<b>8</b>	<b>Fraktale</b>	<b>87</b>
8.1	Selbstähnlichkeit . . . . .	87
8.2	Koch'sche Schneeflocke . . . . .	87
8.3	Fraktale Dimension . . . . .	88
8.4	Lindenmayer-Systeme . . . . .	90
8.5	Baumstrukturen . . . . .	91
8.6	Mandelbrot-Menge . . . . .	94
8.7	Julia-Menge . . . . .	98
8.8	Beispiel-Applet zu Fraktalen . . . . .	101
8.9	Iterierte Funktionensysteme . . . . .	102
8.10	Beispiel-Applet zu Iterierten Funktionensystemen . . . . .	104
<b>9</b>	<b>Farbe</b>	<b>107</b>
9.1	Physik . . . . .	107
9.2	Dominante Wellenlänge . . . . .	108
9.3	Grundfarben . . . . .	108
9.4	RGB-Modell (Rot, Grün, Blau), (additiv) . . . . .	110
9.5	CMY-Modell (Cyan, Magenta, Yellow), (subtraktiv) . . . . .	110
9.6	Das YIQ-Modell . . . . .	111
9.7	YUV-Modell . . . . .	112
9.8	HSV-Modell . . . . .	112
9.9	HLS-Modell . . . . .	115
9.10	Color Data Base . . . . .	116
9.11	CNS . . . . .	116
9.12	Color Table (Farbtabelle) . . . . .	116
9.13	Beispiel-Applet zu Farbe . . . . .	119
<b>10</b>	<b>Pixeldateiformate</b>	<b>121</b>
10.1	TIF . . . . .	121
10.2	PBM, PGM, PNM und PPM . . . . .	125
10.3	Photo-CD . . . . .	127
10.4	Auflösung . . . . .	128
10.5	LZW-Komprimierung (Lempel/Ziv/Welch, 1984) . . . . .	130

10.6	GIF . . . . .	131
10.7	Erzeugung einer bildbezogenen Farbtabelle . . . . .	132
10.8	Kompression nach JPEG . . . . .	136
<b>11</b>	<b>3D-Grundlagen</b>	<b>145</b>
11.1	Repräsentation und Darstellung . . . . .	145
11.2	3D-Koordinatensystem . . . . .	146
11.3	Länge und Kreuzprodukt . . . . .	146
11.4	Skalarprodukt . . . . .	147
11.5	Matrixinversion . . . . .	148
<b>12</b>	<b>3D-Repräsentation</b>	<b>149</b>
12.1	Elementarobjekte . . . . .	149
12.2	Drahtmodell . . . . .	149
12.3	Flächenmodell . . . . .	149
12.4	CSG (constructive solid geometry) . . . . .	151
12.5	Flächenmodell mit Halbkantendarstellung . . . . .	152
<b>13</b>	<b>3D-Transformationen</b>	<b>155</b>
13.1	Translation . . . . .	155
13.2	Skalierung . . . . .	155
13.3	Rotation . . . . .	156
13.4	Transformation von Koordinatensystemen . . . . .	159
13.5	Transformation der Normalenvektoren . . . . .	160
<b>14</b>	<b>Projektion</b>	<b>161</b>
14.1	Bildebene . . . . .	161
14.2	Perspektivische Projektion . . . . .	162
14.3	Parallelprojektion . . . . .	164
14.3.1	Normalprojektionen . . . . .	164
14.3.2	Schiefe Projektionen . . . . .	164
<b>15</b>	<b>Betrachtungstransformationen</b>	<b>167</b>
15.1	Die synthetische Kamera . . . . .	167
15.2	Viewing Pipeline . . . . .	168
15.2.1	Modeling-Transformationen . . . . .	169



15.2.2 View Orientation . . . . .	169
15.2.3 View Volume . . . . .	171
15.2.4 View Mapping . . . . .	172
15.2.5 Device Mapping . . . . .	176
15.2.6 Zusammenfassung . . . . .	177
<b>16 3D-Objekte</b>	<b>179</b>
16.1 Polyeder . . . . .	179
16.1.1 Würfel . . . . .	180
16.2 Gekrümmte Flächen . . . . .	180
16.2.1 Zylinder . . . . .	180
16.2.2 Kugel . . . . .	181
<b>17 Entfernen verdeckter Kanten und Flächen</b>	<b>183</b>
17.1 Back-Face Removal/Culling . . . . .	183
17.2 Hidden-Surface Removal . . . . .	184
17.2.1 z-Buffer-Algorithmus . . . . .	185
17.3 Beispiel-Applet zur Wire-Frame-Projektion . . . . .	186
<b>18 Rasterung von Flächen</b>	<b>187</b>
18.1 Beleuchtung . . . . .	188
18.1.1 Lichtquellen . . . . .	189
18.1.2 Reflexionseigenschaften . . . . .	190
18.1.3 Oberflächeneigenschaften . . . . .	190
18.1.4 Materialeigenschaften . . . . .	192
18.2 Schattierungsalgorithmen . . . . .	192
18.2.1 Flat-Shading . . . . .	192
18.2.2 Gouraud-Shading . . . . .	193
18.2.3 Phong-Shading . . . . .	194
18.3 Schatten . . . . .	194
18.4 Texture Mapping . . . . .	195
18.5 Beispiel-Applet zum Rendering . . . . .	196
<b>19 Die Viewing-Pipeline im Überblick</b>	<b>197</b>
<b>20 Radiosity</b>	<b>199</b>

20.1 Globale Beleuchtung . . . . .	199
20.2 Physikalische Ausgangslage . . . . .	200
20.3 Die Radiosity-Gleichung (Beleuchtungsgleichung) . . . . .	200
20.4 Berechnung der Formfaktoren . . . . .	202
20.5 Interpolation der Pixelfarben . . . . .	204
20.6 Schrittweise Verfeinerung . . . . .	204
20.7 Screenshots . . . . .	207
<b>21 Ray Tracing</b>	<b>209</b>
21.1 Grundlagen . . . . .	209
21.2 Ermittlung sichtbarer Flächen durch Ray Tracing . . . . .	210
21.3 Berechnung von Schnittpunkten . . . . .	211
21.4 Effizienzsteigerung zur Ermittlung sichtbarer Flächen . . . . .	211
21.5 Rekursives Ray Tracing . . . . .	213
21.6 Public Domain Ray Tracer Povray . . . . .	217
<b>22 Caligary trueSpace</b>	<b>219</b>
<b>23 VRML</b>	<b>223</b>
23.1 Geschichte . . . . .	223
23.2 Einbettung . . . . .	224
23.3 Geometrie . . . . .	225
23.4 Polygone . . . . .	226
23.5 Wiederverwendung . . . . .	227
23.6 Multimedia . . . . .	228
23.7 Interaktion . . . . .	229
23.8 Animation . . . . .	230
23.9 Scripts . . . . .	231
23.10 Multiuser . . . . .	233
<b>24 OpenGL</b>	<b>235</b>
24.1 Grundlagen . . . . .	235
24.2 Syntax . . . . .	237
24.3 Programmbeispiele . . . . .	238
24.4 Screenshots . . . . .	252