

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Zusammenhang Computergrafik – Bildverarbeitung</b>	<b>6</b>
2.1 Bildverarbeitung auf programmierbarer Grafikhardware . . . . .	7
2.2 Simulation von kameragesteuerten Geräten . . . . .	10
2.3 Bilddatencodierung . . . . .	14
2.4 Bildbasiertes Rendering . . . . .	19
<b>3 Interaktive 3D-Computergrafik</b>	<b>24</b>
3.1 Harte Echtzeit . . . . .	25
3.2 Weiche Echtzeit . . . . .	28
<b>4 Anwendungen interaktiver 3D-Computergrafik</b>	<b>29</b>
4.1 Ausbildungs-Simulation . . . . .	29
4.2 Entwicklungs-Simulation . . . . .	31
4.3 Unterhaltung . . . . .	33
4.4 Telepräsenz . . . . .	33
4.5 Daten-Visualisierung . . . . .	34
4.6 Augmented Reality . . . . .	35
4.7 Datenübertragung . . . . .	36
<b>5 Einführung in die 3D-Computergrafik mit OpenGL</b>	<b>38</b>
5.1 OpenGL Kurzbeschreibung . . . . .	43
5.2 Die OpenGL Kommando Syntax . . . . .	45
5.3 Die OpenGL Rendering Pipeline . . . . .	46
5.3.1 Die Fixed Function Rendering Pipeline . . . . .	46
5.3.2 Die Programmierbare Rendering Pipeline . . . . .	50
5.3.3 Shading Programmiersprachen . . . . .	54
5.4 OpenGL Shading Language (GLSL) . . . . .	55
5.4.1 Datentransfer in der GLSL Rendering Pipeline . . . . .	55
5.4.2 Datentypen, Variablen und Konstanten in GLSL . . . . .	58
5.4.3 Eingebaute Funktionen in GLSL . . . . .	63
5.4.4 Beispiel für ein einfaches Shader-Paar . . . . .	64

5.4.5	Compilieren und Binden von Shadern . . . . .	66
5.5	Ergänzende Literaturhinweise . . . . .	70
<b>6</b>	<b>Geometrische Grundobjekte</b>	<b>72</b>
6.1	3D-Modellierungsmethoden . . . . .	72
6.1.1	Planare Polygone . . . . .	72
6.1.2	Gekrümmte Polygone . . . . .	73
6.1.3	Volumendarstellung . . . . .	74
6.1.4	Konstruktive Körpergeometrie . . . . .	75
6.2	Geometrische Grundobjekte in OpenGL . . . . .	76
6.2.1	Vertex-Definition in OpenGL . . . . .	78
6.2.2	Grafik-Primitive in OpenGL . . . . .	79
6.2.3	Programmierbeispiele . . . . .	82
6.3	Tipps zur Verwendung der Grafik-Primitive . . . . .	99
6.3.1	Rendering-Geschwindigkeit . . . . .	99
6.3.2	Konsistente Polygon-Orientierung . . . . .	100
6.3.3	Koordinaten-Berechnungen offline . . . . .	100
6.3.4	Lücken . . . . .	100
6.4	OpenGL Zeichentechniken . . . . .	102
6.4.1	glBegin/glEnd-Paradigma . . . . .	102
6.4.2	Display Listen . . . . .	103
6.4.3	Vertex Arrays . . . . .	105
6.4.4	Buffer Objects . . . . .	108
6.5	Modellierung komplexer 3D-Szenarien . . . . .	120
<b>7</b>	<b>Koordinatensysteme und Transformationen</b>	<b>121</b>
7.1	Definition des Koordinatensystems . . . . .	121
7.2	Transformationen im Überblick . . . . .	122
7.3	Mathematische Grundlagen . . . . .	124
7.3.1	Homogene Koordinaten . . . . .	124
7.3.2	Transformations-Matrizen . . . . .	125
7.4	Modell-Transformationen . . . . .	128
7.4.1	Translation . . . . .	128
7.4.2	Rotation . . . . .	130
7.4.3	Skalierung . . . . .	132
7.4.4	Reihenfolge der Transformationen . . . . .	133
7.5	Augenpunkt-Transformationen . . . . .	135
7.6	Projektions-Transformationen . . . . .	142
7.6.1	Orthografische Projektion (Parallel-Projektion) . . . . .	142
7.6.2	Perspektivische Projektion . . . . .	144
7.6.3	Normierung . . . . .	149
7.7	Viewport-Transformation . . . . .	150
7.8	Matrizen-Stapel . . . . .	152

<b>8 Verdeckung</b>	<b>158</b>
8.1 Der <i>z</i> -Buffer Algorithmus . . . . .	159
8.2 Die Implementierung des <i>z</i> -Buffer Algorithmus . . . . .	162
8.3 Einsatzmöglichkeiten des <i>z</i> -Buffer Algorithmus . . . . .	163
8.3.1 Entfernen aller Vorderteile . . . . .	164
8.3.2 Höhenkarten generieren . . . . .	164
8.3.3 Volumenmessung . . . . .	166
8.3.4 Oberflächenmessung . . . . .	167
8.3.5 Entfernungsmessung . . . . .	168
8.3.6 Weitere Einsatzmöglichkeiten . . . . .	168
<b>9 Farbe, Transparenz und Farbmischung</b>	<b>169</b>
9.1 Das Farbmodell in OpenGL . . . . .	169
9.2 Modelle der Farbdarstellung . . . . .	172
9.2.1 Der RGBA-Modus . . . . .	172
9.2.2 Der Farb-Index-Modus . . . . .	172
9.2.3 Wahl zwischen RGBA- und Farb-Index-Modus . . . . .	173
9.2.4 Farbspezifikation im RGBA-Modus . . . . .	173
9.2.5 Farbspezifikation im Farb-Index-Modus . . . . .	176
9.3 Transparenz und Farbmischung . . . . .	177
9.3.1 Farbmischung in OpenGL . . . . .	177
9.3.2 Beispiele für Farbmischungen . . . . .	181
9.3.3 Transparente Texturen . . . . .	187
9.3.4 3D-Probleme bei der Farbmischung . . . . .	188
<b>10 Anti-Aliasing</b>	<b>192</b>
10.1 Aliasing-Effekte . . . . .	192
10.2 Gegenmaßnahmen – Anti-Aliasing . . . . .	196
10.2.1 Pre-Filterungs-Methode: Flächenabtastung . . . . .	196
10.2.2 Post-Filterungs-Methoden . . . . .	198
<b>11 Nebel und atmosphärische Effekte</b>	<b>204</b>
11.1 Anwendungen . . . . .	204
11.2 Nebel in OpenGL . . . . .	206
<b>12 Beleuchtung und Schattierung</b>	<b>214</b>
12.1 Beleuchtungsmodelle . . . . .	215
12.1.1 Physikalische Optik und Näherungen der Computergrafik . . . . .	215
12.1.2 Lokale und globale Beleuchtungsmodelle . . . . .	224
12.1.3 Das Standard-Beleuchtungsmodell in OpenGL . . . . .	226
12.2 Schattierungsverfahren . . . . .	249
12.2.1 Flat-Shading . . . . .	250
12.2.2 Smooth-/Gouraud-Shading . . . . .	252

12.2.3 Phong-Shading . . . . .	257
12.2.4 Realisierung eines Phong-Shaders in GLSL . . . . .	259
<b>13 Texturen</b>	<b>266</b>
13.1 Foto-Texturen (Image Texturing) . . . . .	268
13.1.1 Spezifikation der Textur . . . . .	270
13.1.2 Textur-Filter . . . . .	280
13.1.3 Gauß-Pyramiden-Texturen (MipMaps) . . . . .	283
13.1.4 Programmierbare Textur-Filter . . . . .	288
13.1.5 Textur-Fortsetzungsmodus (Texture Wraps) . . . . .	293
13.1.6 Mischung von Textur- und Beleuchtungsfarbe (Texture Environment)	295
13.1.7 Zuordnung von Texturkoordinaten . . . . .	298
13.1.8 Einschalten des Texture Mappings . . . . .	312
13.1.9 Textur-Objekte . . . . .	314
13.1.10 Pixel Buffer Objects (PBO) . . . . .	316
13.1.11 Texture Buffer Objects (TBO) . . . . .	317
13.2 Mehrfach-Texturierung (Multitexturing) . . . . .	319
13.3 Projektive Texturen (Projective Texture) . . . . .	325
13.4 Umgebungs-Texturen (Environment Maps) . . . . .	328
13.4.1 Sphärische Texturierung (Sphere Mapping) . . . . .	329
13.4.2 Kubische Texturierung (Cube Mapping) . . . . .	333
13.5 Relief-Texturierung (Bump Mapping) . . . . .	339
13.6 Bildverarbeitung auf Grafikkarten . . . . .	348
13.6.1 Punktoperatoren . . . . .	348
13.6.2 Faltungsoperatoren . . . . .	351
13.6.3 Rangordnungsoperatoren . . . . .	356
<b>14 Schatten</b>	<b>362</b>
14.1 Harte Schatten (Hard Shadows) . . . . .	366
14.1.1 Schatten-Texturierung (Shadow Mapping) . . . . .	367
14.1.2 Probleme und Abhilfen bei der Schatten-Texturierung . . . . .	376
14.1.3 Ray Tracing . . . . .	389
14.2 Weiche Schatten (Soft Shadows) . . . . .	390
14.2.1 Konstante Halbschattenbreite (Fixed-Size Penumbra) . . . . .	392
14.2.2 Variable Halbschattenbreite (Variable-Size Penumbra) . . . . .	404
14.3 Ambient Occlusion . . . . .	414
14.4 Transparenz . . . . .	418
14.4.1 Transparente Objekte mit binären Alpha-Werten . . . . .	418
14.4.2 Volumen-Schatten . . . . .	422

<b>15 Animationen</b>	<b>426</b>
15.1 Animation und Double Buffering . . . . .	426
15.2 Animationstechniken . . . . .	430
15.2.1 Bewegung eines starren Objektes – Pfadanimation . . . . .	431
15.2.2 Bewegung von Gelenken eines Objektes – Artikulation . . . . .	433
15.2.3 Verformung von Oberflächen – Morphing . . . . .	435
15.2.4 Bewegung von Objektgruppen: Schwärme und Partikelsysteme . . . . .	437
<b>16 Beschleunigungsverfahren</b>	<b>440</b>
16.1 Szenen Graphen . . . . .	443
16.2 Cull Algorithmen . . . . .	446
16.2.1 Viewing Frustum Culling . . . . .	448
16.2.2 Occlusion Culling . . . . .	451
16.2.3 Backface Culling . . . . .	454
16.2.4 Portal Culling . . . . .	455
16.2.5 Detail Culling . . . . .	457
16.3 Level Of Detail (LOD) . . . . .	458
16.3.1 Switch LOD . . . . .	459
16.3.2 Fade LOD . . . . .	460
16.3.3 Morph LOD . . . . .	461
16.4 Billboards . . . . .	463
16.5 Multiprozessor- und Mehrkernsysteme . . . . .	467
16.6 Geschwindigkeits-Optimierung . . . . .	471
16.6.1 Leistungsmessung . . . . .	472
16.6.2 Optimierungsmaßnahmen . . . . .	477
<b>17 GPU Programmierung mit CUDA und OpenCL</b>	<b>481</b>
17.1 Einführung . . . . .	481
17.2 Historie . . . . .	481
17.3 GPGPU-Hardware . . . . .	482
17.4 Das SIMD Berechnungsmodell . . . . .	483
17.5 GPGPU-Anwendungsbereiche . . . . .	484
17.6 Die CUDA und OpenCL Terminologie . . . . .	485
17.7 Allgemeine Struktur von GPGPU-Programmen . . . . .	486
17.8 Ein GPGPU-Programmbeispiel . . . . .	487
17.9 Beschreibung der Problemdimension . . . . .	495
17.10 Die GPGPU-Speicherhierarchie . . . . .	499
17.11 Vereinigte Speicherzugriffe . . . . .	501
17.12 Datentypen . . . . .	502
17.13 Integration CUDA-OpenGL . . . . .	503
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>506</b>

<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>514</b>
<b>Inhaltsverzeichnis von Band II Bildverarbeitung</b>	<b>525</b>