

Hans-Joachim Bungartz  
Michael Griebel  
Christoph Zenger

# Einführung in die Computergraphik

Grundlagen, Geometrische Modellierung,  
Algorithmen

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 195 Abbildungen und 61 Farbtafeln

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Technische Universität Darmstadt<br>FACHBEREICH INFORMATIK |                              |
| <b>B I B L I O T H E K</b>                                 |                              |
| Inventar-Nr.:  | <u>406-00155</u>             |
| Sachgebiete:   | <u>Graphische Datenverb.</u> |
| Standort:  | <u>G 01/11</u>               |



# Inhaltsverzeichnis

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen und graphische Grundfunktionen</b>                     | <b>1</b>   |
| 1.1      | Grundsätzliches Vorgehen . . . . .                                   | 1          |
| 1.2      | Grundobjekte . . . . .   | 6          |
| 1.3      | Koordinatensysteme und Transformationen . . . . .                    | 8          |
| 1.4      | Zweidimensionales Clipping . . . . .                                 | 15         |
| 1.5      | Linien und Kreise am Bildschirm . . . . .                            | 19         |
| 1.5.1    | Linien . . . . .   | 20         |
| 1.5.2    | Kreise . . . . .   | 30         |
| 1.5.3    | Antialiasing . . . . .   | 37         |
| 1.6      | Graustufen- und Farbdarstellung . . . . .                            | 40         |
| 1.6.1    | Graustufendarstellung . . . . .                                      | 40         |
| 1.6.2    | Farbdarstellung . . . . .  | 43         |
| <b>2</b> | <b>Geometrische Modellierung dreidimensionaler Objekte</b>           | <b>55</b>  |
| 2.1      | Mathematische Modelle für starre Körper . . . . .                    | 56         |
| 2.2      | Darstellungsarten eines Körpers . . . . .                            | 58         |
| 2.2.1    | Direkte Darstellungsschemata: Volumenmodellierung . . . . .          | 60         |
| 2.2.2    | Indirekte Darstellung: Kanten- und Oberflächenmodellierung . . . . . | 66         |
| 2.2.3    | Hybridschemata . . . . .   | 72         |
| 2.3      | Die topologische Struktur in der Oberflächendarstellung . . . . .    | 73         |
| 2.3.1    | Der <i>vef</i> -Graph . . . . .                                      | 74         |
| 2.3.2    | Euler-Operatoren . . . . .   | 82         |
| 2.4      | Geometrische Attributierung . . . . .                                | 90         |
| 2.4.1    | Beschreibungen für Kurven- und Flächenstücke . . . . .               | 90         |
| 2.4.2    | Freiformkurven . . . . .   | 92         |
| 2.4.2.1  | Bézier-Kurven . . . . .  | 93         |
| 2.4.2.2  | B-Splines . . . . .  | 98         |
| 2.4.2.3  | NURBS . . . . .  | 102        |
| 2.4.3    | Freiformflächen . . . . .  | 104        |
| 2.4.4    | Attributierung und glatter Übergang an Nahtstellen . . . . .         | 109        |
| <b>3</b> | <b>Graphische Darstellung dreidimensionaler Objekte</b>              | <b>113</b> |
| 3.1      | Parallel- und Zentralprojektion . . . . .                            | 114        |
| 3.2      | Sichtbarkeitsentscheid . . . . .                                     | 123        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.2.1    | Dreidimensionales Clipping . . . . .                       | 124        |
| 3.2.2    | Rückseitenentfernung . . . . .                             | 126        |
| 3.2.3    | z-Buffer-Verfahren . . . . .                               | 128        |
| 3.2.4    | List-Priority-Verfahren . . . . .                          | 130        |
| 3.2.5    | Scan-Line-Algorithmen . . . . .                            | 131        |
| 3.2.6    | Rekursive Verfahren . . . . .                              | 134        |
| 3.2.7    | Ray-Casting-Verfahren . . . . .                            | 135        |
| 3.3      | Lokale Beleuchtung und Reflexion . . . . .                 | 140        |
| 3.3.1    | Ambientes Licht . . . . .                                  | 140        |
| 3.3.2    | Punktförmige Lichtquellen mit diffuser Reflexion . . . . . | 142        |
| 3.3.3    | Spiegelnde Reflexion . . . . .                             | 144        |
| 3.4      | Schattierung . . . . .                                     | 154        |
| 3.4.1    | Konstante Schattierung . . . . .                           | 155        |
| 3.4.2    | Interpolierte Schattierung . . . . .                       | 155        |
| 3.4.2.1  | Gouraud-Schattierung . . . . .                             | 156        |
| 3.4.2.2  | Phong-Schattierung . . . . .                               | 156        |
| 3.5      | Transparente Objekte . . . . .                             | 159        |
| 3.5.1    | Transparenz ohne Brechung des Lichts . . . . .             | 159        |
| 3.5.1.1  | Interpolierte Transparenz . . . . .                        | 160        |
| 3.5.1.2  | Screen-Door-Transparenz . . . . .                          | 160        |
| 3.5.1.3  | Gefilterte Transparenz . . . . .                           | 161        |
| 3.5.2    | Transparenz mit Brechung des Lichts . . . . .              | 161        |
| 3.6      | Globale Beleuchtung . . . . .                              | 163        |
| 3.6.1    | Größen aus der Radiometrie . . . . .                       | 163        |
| 3.6.2    | Die Rendering-Gleichung . . . . .                          | 166        |
| 3.6.3    | Lösung der Rendering-Gleichung . . . . .                   | 169        |
| 3.6.3.1  | Klassifikation der Verfahren . . . . .                     | 169        |
| 3.6.3.2  | Ray-Tracing . . . . .                                      | 170        |
| 3.6.3.3  | Path-Tracing . . . . .                                     | 172        |
| 3.6.3.4  | Radiosity-Verfahren . . . . .                              | 174        |
| 3.6.3.5  | Light Ray-Tracing . . . . .                                | 176        |
| 3.6.3.6  | Monte Carlo Ray-Tracing mit Photon Maps . . . . .          | 176        |
| 3.7      | Ray-Tracing . . . . .                                      | 179        |
| 3.8      | Radiosity-Verfahren . . . . .                              | 183        |
| 3.8.1    | Berechnung der Formfaktoren . . . . .                      | 184        |
| 3.8.2    | Lösung der Radiosity-Gleichung . . . . .                   | 185        |
| 3.8.3    | Abschließende Bemerkungen . . . . .                        | 188        |
| <b>4</b> | <b>Ausgewählte Themen und Anwendungen</b> . . . . .        | <b>193</b> |
| 4.1      | Rendering . . . . .  | 193        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.2      | Mapping-Techniken . . . . .  | 195        |
| 4.2.1    | Texture-Mapping . . . . .  | 195        |
| 4.2.2    | Bump-Mapping . . . . .   | 197        |
| 4.2.3    | Environment-Mapping . . . . .  | 199        |
| 4.3      | Stereographie . . . . .  | 199        |
| 4.3.1    | Grundlegendes . . . . .  | 199        |
| 4.3.2    | Anaglyphen . . . . .   | 202        |
| 4.3.3    | Zeit-parallele Polarisationsverfahren . . . . .                          | 203        |
| 4.4      | Darstellung natürlicher Objekte und Effekte . . . . .                    | 205        |
| 4.4.1    | Fraktale . . . . .   | 206        |
| 4.4.2    | Grammatikmodelle . . . . .   | 211        |
| 4.4.3    | Partikelsysteme . . . . .  | 214        |
| 4.5      | Animation . . . . .  | 217        |
| 4.5.1    | Grundlegende Techniken . . . . .   | 217        |
| 4.5.2    | Steuerung . . . . .  | 222        |
| 4.6      | Visualisierung . . . . .   | 223        |
| 4.6.1    | Methoden der Bildverarbeitung . . . . .                                  | 227        |
| 4.6.2    | Visualisierung raum- und zeitaufgelöster Simulations-<br>daten . . . . . | 229        |
| 4.6.2.1  | Techniken der Dimensionsreduktion . . . . .                              | 229        |
| 4.6.2.2  | Weitere Techniken . . . . .  | 231        |
| 4.6.2.3  | Datenrepräsentation . . . . .  | 233        |
| 4.6.3    | Vom Bild zum Film . . . . .  | 235        |
| 4.6.4    | Bunte Bildchen über alles . . . . .                                      | 236        |
| 4.7      | Virtual Reality . . . . .  | 238        |
| <b>A</b> | <b>Schnittstellen und Standards</b>                                      | <b>245</b> |
| <b>B</b> | <b>Graphiksoftware</b>   | <b>249</b> |
| B.1      | Graphikbibliotheken, OpenGL . . . . .                                    | 249        |
| B.1.1    | Grundlegendes zu OpenGL . . . . .  | 250        |
| B.1.2    | Viewing in OpenGL . . . . .  | 252        |
| B.2      | Ray-Tracer . . . . .   | 256        |
| B.3      | 3D-Modellierer . . . . .   | 256        |
| B.4      | Mal- und Zeichenprogramme . . . . .                                      | 257        |
| B.5      | Funktionsplotter . . . . .   | 257        |
| B.6      | Visualisierungssysteme . . . . .   | 258        |
| <b>C</b> | <b>Aufgaben</b>  | <b>261</b> |
| C.1      | Aufgaben zu Modellierung, Rendering und Animation . . . . .              | 261        |

---

|  |            |
|--|------------|
| C.2 Aufgaben zur Graphikprogrammierung . . . . . | 267        |
| C.3 Aufgaben zur Visualisierung . . . . .        | 269        |
| C.4 Weiterführende Aufgaben . . . . .            | 271        |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                      | <b>273</b> |
| <b>Index</b>                                     | <b>291</b> |
| <b>Farbtafeln</b>                                |            |