

# 3D-Grafik Programmierung

von  
Marius Apetri

Neuausgabe

3D-Grafik Programmierung – Apetri

schnell und portofrei erhältlich bei [beck-shop.de](http://beck-shop.de) DIE FACHBUCHHANDLUNG

mitp/bhv 2007

Verlag C.H. Beck im Internet:

[www.beck.de](http://www.beck.de)

ISBN 978 3 8266 1767 6

## Aus dem Inhalt:

- Mathematische Grundlagen
- Grafikprogrammierung in C++
- 3D-Programmierung
- 3D-Polygonfiguren
- Verwendung von Matrizen
- Projektion und Rasterization
- Schattieralgorithmen
- Texture Mapping
- Semitransparenzeffekte
- Echtzeitdarstellung dreidimensionaler Landschaften

## Neu in der 2. Auflage:

- Linsen- und Plasmaeffekte
- Fraktale Grafiken
- Texturparkettierung
- Polygonübergreifende Texturprojektion
- Einführung in OpenGL und Direct3D

## Auf der CD:

- CYGWIN Compiler (32 Bit)
- sämtliche Quellcodes
- ca. 150 zusätzliche pdf-Seiten mit den Lösungen und Besprechungen der Übungsaufgaben und Projekte sowie 2 zusätzliche Anhänge

## Leserstimmen zur Voraufgabe:

„Es ist eines der besten deutschsprachigen Bücher über 3D-Programmierung.“

„Wer sich ernsthaft mit Computergrafik beschäftigen will, kommt an diesem Buch nicht vorbei.“

Wertung bei amazon.de: ★★★★★

Probekapitel und Infos erhalten Sie unter:  
[info@mitp.de](mailto:info@mitp.de)  
[www.mitp.de](http://www.mitp.de)

Regalsystematik:  
Programmierung

(D) € 49,95

ISBN 978-3-8266-1767-6



9 783826 161767 6

inklusive



Marius Apetri  
1767

# 3D-Grafik Programmierung



## Zum gleichen Thema:



ISBN 978-3-8266-1469-0



ISBN 978-3-8266-5512-8



ISBN 978-3-8266-5945-4

Komplexe dreidimensionale Grafikentwicklung ist die Grundlage vieler neuer Softwareprodukte. Spiele, Animationen für Film- und Videoprojekte, wissenschaftliche Darstellungen oder „virtuelle Realität“ in der Technik basieren auf den mathematischen und softwaretechnischen Methoden der 3D-Grafikprogrammierung.

Dieses Buch liefert die ideale Grundlage für den ambitionierten Software-Entwickler in der Grafikprogrammierung, es deckt alle wesentlichen Aspekte des Fachgebietes ab und kann als Lese- und Nachschlagewerk verwendet werden. Alle Themen werden ausführlich und allgemein verständlich behandelt. Die zweite Auflage des Buches wurde neben den vollständig überarbeiteten Texten um zahlreiche neue Themen erweitert wie beispielsweise die Visualisierung einer virtuellen Welt aus der Sicht verschiedener Kameras. Die Erarbeitung der Kenntnisse wird durch zahlreiche Übungsaufgaben und Beispielprogramme unterstützt.

Zusätzlich zur Beschreibung der Themen werden die Techniken und Vorgehensweisen vermittelt, die dem Leser die Formulierung eigener, unabhängiger Algorithmen ermöglichen.

Dank des bewährten didaktischen und thematischen Aufbaus werden komplexe Zusammenhänge einem breiten Publikum nachvollziehbar erklärt. Dieses Buch ist selbst für Nicht-Mathematiker und Leser mit nur wenigen Grundkenntnissen verständlich.

Marius Apetri

inklusive



# 3D-Grafik Programmierung

Alle mathematischen Grundlagen

Von einfachen Rasteralgorithmen bis hin zu Landscape Generation

3D-Grafik in C++, optimaler Einstieg in OpenGL und Direct3D

# Vorwort

Die Aufgabe des Buches 3D-Grafik Programmierung besteht in der Übermittlung der Grundlagen, welche für die Erstellung anspruchsvoller Grafikeffekte unentbehrlich sind. Im Mittelpunkt steht hierbei die anschauliche Erläuterung der mathematischen Vorgänge, welche die Basis weit verbreiteter Algorithmen darstellen. In diesem Zusammenhang werden aber auch die Techniken für den Entwurf und der Formulierung eigener Algorithmen vorgestellt.

Das Buch ist in erster Linie für ein Alleinstudium konzipiert; es kann jedoch problemlos auch als Begleitmaterial oder Nachschlagewerk für Fächer wie beispielsweise *Computer Graphics* eingesetzt werden. Eine Besonderheit des Buches besteht darin, dass die theoretischen Ausführungen in Form zahlreicher Programme in die Praxis umgesetzt werden; auf diese Weise lassen sich die erworbenen Kenntnisse individuell vertiefen bzw. erweitern. Dank dem vielschichtigen Aufbau werden dem Leser zahlreiche Anreize gegeben um eigene Effekte zu programmieren, die im Text nicht explizit beschrieben sind.

In den Quelltexten wurde auf übersetzerspezifische Strukturen verzichtet, sodass die lauffähigen Programme unter Verwendung eines beliebigen Compilersystems für das Betriebssystem WINDOWS erstellt werden können. Im dritten Anhang des Buches wird die Übersetzung mit dem Freeware-Compilersystem CYGWIN sowie zwei weiteren verbreiteten Compilersystemen von MICROSOFT beschrieben.

## Erforderliche Vorkenntnisse

Die theoretische Vorstellung neuer Vorgehensweisen und der praktische Einsatz dieser Algorithmen in Form lauffähiger Programme sind in den folgenden Kapiteln deutlich voneinander getrennt. Für das Verständnis der Theorie sind Programmierkenntnisse nicht erforderlich.

In den Beispielprogrammen wird die Programmiersprache C++ eingesetzt, sodass die Beherrschung dieser Programmiersprache von Vorteil ist. Der sichere Umgang mit Funktionen, Zeigern und Klassen ist hierbei von großer Bedeutung. Kenntnisse der WINDOWS-, OPENGL- oder DIRECTX – Programmierung werden hingegen nicht vorausgesetzt. Die praktische Implementierung mathematischer Algorithmen ist von der eingesetzten Sprache unabhängig; alternativ zu C++ können aus diesem Grund auch Sprachen wie C, JAVA oder PASCAL in Verbindung mit ASSEMBLER eingesetzt werden.

## Vorwort

Die zweite Voraussetzung ist die Beherrschung elementarer mathematischer Grundlagen. Das erste Kapitel widmet sich der Auffrischung bzw. Ergänzung dieser Kenntnisse; der Text ist so aufgebaut, dass man sich schnell zurechtfindet, selbst wenn man sich seit längerer Zeit nicht mehr mit der Mathematik beschäftigt hat. Weiterführende mathematische Kenntnisse wie Vektoren oder Ebenen, die nicht zu den Grundlagen gehören, zum Verständnis des Buches aber sehr wichtig sind, werden ausführlich erläutert.

## Aufbau des Buches

Das Buch ist in neun Kapitel gegliedert. Das **erste Kapitel** beschäftigt sich mit den mathematischen Grundlagen, welche für die Darstellung komplexer Grafiken notwendig sind. Die Aufgabe dieses Kapitels ist es, alle Leser auf dem gleichen Wissensstand zu bringen. Themen, die nicht zu diesen Grundlagen gehören, wie beispielsweise Zuordnungen oder trigonometrische Funktionen, werden bevorzugt behandelt.

Das **zweite Kapitel** vermittelt die technischen Grundlagen der Computergrafik anhand der elementaren Programmierung der Grafikkarte. Hauptthemen sind das Setzen von Pixeln auf dem Bildschirm, der Umgang mit Zufallszahlen und Algorithmen zur Darstellung von Geraden, Kreisen und Kurven. Das Ziel des Kapitels besteht darin, dem Leser die grundlegenden Rasterzeilenalgorithmen in einem möglichst intuitiven Zusammenhang nahe zu bringen. Die auf diese Weise erworbenen Fähigkeiten spielen im weiteren Verlauf des Buches eine große Rolle, und treten verstärkt im Gebiet der Bildverarbeitung oder der effizienten Darstellung dreidimensionaler Landschaften auf, die im siebten bzw. neunten Kapitel vorgestellt werden.

Im **dritten Kapitel** werden bedeutende Themen wie Matrizenalgebra oder der Umgang mit Polygonen behandelt. Hierbei kommen die mathematischen Zusammenhänge zum Vorschein, die für Bewegung im dreidimensionalen Raum verantwortlich sind. Dem Leser werden vielfältige Möglichkeiten geboten, auf sehr einfache und anschauliche Weise mit diesen Gleichungen zu experimentieren, um diese sehr wichtigen Sachverhalte zu verinnerlichen. Die genaue Kenntnis dieser Grundlagen ermöglicht eine besonders effiziente Nutzung der Möglichkeiten, welche in der High Level Programmierung von OPENGL und DIRECTX zur Verfügung gestellt werden.

Das **vierte Kapitel** beschäftigt sich mit Grundalgorithmen der Darstellung von Polygonen wie beispielsweise Grafiken aus gefüllten Vielecken, einfache und erweiterte Sichtbarkeitsprüfungen sowie Polygon Clipping. Von herausragender Wichtigkeit ist die in diesem Zusammenhang notwendige Interpolation von Werten. Dieses mathematische Denkmodell bildet die Grundlage für die große Mehrheit der Grafikeffekte, einschließlich Texture Mapping, erweiterte Schattieralgorithmen oder Semitransparenzdarstellungen. Die anfangs anhand einfacher Beispiele durchge-

führte Interpolation tritt im Laufe der nachfolgenden Kapitel in immer komplexeren Zusammenhängen auf.

Das **fünfte Kapitel** gibt einen Einblick in die wichtigsten Prozesse, welche bei der Verwaltung von Eingabegeräten in Multitasking-Betriebssystemen beteiligt sind. Auf diese Weise werden dem Leser erweiterte Möglichkeiten zur Manipulation virtueller Gegenstände zur Verfügung gestellt, welche besonders im Hinblick auf die nächsten Kapitel benötigt werden.

Das Hauptthema des **sechsten Kapitels** stellen Algorithmen für die Beleuchtung einfarbiger Polygone dar. Anhand dieses relativ einfachen Beispiels erhält der Leser einen Einblick in die theoretischen Modelle, auf deren Grundlage Farben und Farbverläufe definiert werden. Dieselben Denkmodelle werden später als Teil komplexerer Zusammenhänge eingesetzt. Dieses Kapitel besitzt jedoch eine weitere Besonderheit: Es wird eine Methode vorgestellt, wie die Art der Beleuchtung eines Polyeders mit Hilfe einer einfachen Funktion gezielt gesteuert werden kann.

Bitmaps sind das Thema des **siebten Kapitels**. In diesem Zusammenhang werden elementare und erweiterte Bitmapoperationen wie einfache Rotation, partielle Darstellung, Bitmap Clipping oder die Beschriftung von Bitmaps vorgestellt. Später spielen diese Techniken eine große Rolle beim Einsatz multipler Darstellungsfenster oder der Erzeugung zweidimensionaler Umgebungen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die automatische Erzeugung von Bitmaps auf der Grundlage bestimmter Voraussetzungen, vorgestellt anhand von Feuer- und Plasmaeffekten, Plasmafraktalen sowie der Darstellung der Mandelbrotmenge.

Das **achte Kapitel** beschreibt die mathematischen Grundlagen, welche bei der Projektion von Bitmaps auf die Oberfläche von Polygonen eingesetzt werden. Ein weiterer Schwerpunkt sind die erweiterten Aspekte des Texture Mapping, wie beispielsweise der generelle Unterschied zwischen Linear und Perspective Texture Mapping, der Einsatz unterschiedlicher Texturen bei der Visualisierung desselben Polygons, MIP Mapping und Texturparkettierung. Der Einsatz des perspektivischen Z – Buffer Algorithmus ist ein weiteres wichtiges Thema, dass aufgrund der mathematischen Verwandtschaft in diesem Kapitel besprochen wird.

Der zweite Schwerpunkt ist die Theorie der Navigation innerhalb des dreidimensionalen Raumes sowie die daraus abgeleiteten Themen wie die Verwendung mehrerer beliebig ausgerichteter Darstellungskameras sowie die Durchführung komplexer Rotationen.

In den ersten acht Kapiteln werden an zahlreichen Stellen Techniken zur Formulierung eigener Algorithmen beschrieben. Das Ziel des **neunten Kapitels** besteht darin, dieses Wissen zu erweitern und zu vertiefen. Das Konzept sieht hierbei die Generierung einer beliebig großen dreidimensionalen Landschaft vor, in der man sich in Echtzeit frei bewegen kann. Diese Landschaft erscheint dank erweiterter Techniken wie die Generierung realistischer Schatten oder die Verwendung eigener Texturen für die verschiedenen Höhenstufen besonders realistisch. Das Errei-

## Vorwort

chen dieses Ziels erfordert den Einsatz sämtlicher bis zu diesem Zeitpunkt kennen gelernten Algorithmen.

Eine weitere Besonderheit ist die Vorstellung des VTV Algorithmus, mit dessen Hilfe beliebig große Landschaften auf eine besonders effiziente Weise dargestellt werden können. Dieser Algorithmus ist leistungsfähiger als die Verwendung der Bounding Boxes, die für gewöhnlich bei der Lösung dieser Problemstellung zum Einsatz kommen.

## Auf der CD

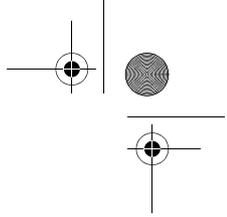
Auf der mitgelieferten CD befinden sich die vollständigen Quelltexte der im Buch vorgestellten Beispielprogramme. Die Software- und OPENGL-Darstellungen sind in jeweils zwei Versionen vorhanden: C++ für WINDOWS und C++ auf der Grundlage von GLUT. Die Quelltexte verfügen über keine übersetzerspezifischen Komponenten und lassen sich mit einem beliebigen Compilersystem übersetzen. Eine Version des freien WINDOWS-Compilersystems CYGWIN ist ebenfalls auf der CD enthalten.

Die Musterlösungen der Übungsaufgaben und Projekte sowie die Anhänge C und D sind in Form von zwei PDF-Dateien auf der CD. Der erste Anhang, **Grundlagen der Programmierung von Multitasking-Betriebssystemen**, beschreibt den Aufbau und die Funktionsweise der Klassen, deren Aufgabe in der Kommunikation zwischen Programm und Betriebssystem sowie der Abfrage von Benutzereingaben besteht. Anhang D beschreibt ausführlich die zur Kompilierung der Quelltexte erforderlichen Schritte; Schwerpunkte bilden der CYGWIN-Übersetzer sowie mehrere Compilersysteme von MICROSOFT.

## Art der Wissensübermittlung

Damit eine Person schnell und effizient ein neues Wissensgebiet erschließen kann, ist ihre Motivation von herausragender Bedeutung. Die einzelnen Abschnitte sind nach dem gleichen Schema aufgebaut. Zuerst werden neue Informationen, z.B. das Setzen eines Pixels auf dem Bildschirm behandelt, anschließend werden diese sofort mittels eines Programms in die Praxis umgesetzt. Der Text ist auf eine Weise konzipiert, die einer großen Lesergruppe das Verständnis ermöglicht. Wird das Buch von Anfang an gelesen, sind die vom Leser mitzubringenden Vorkenntnisse äußerst gering.

Beim Selbststudium treten zwangsläufig Fragen und Probleme zu bestimmten Themen auf. Die kritischen Stellen sind dem Autor bekannt, und es wird in den entsprechenden Abschnitten Hilfestellung geleistet.



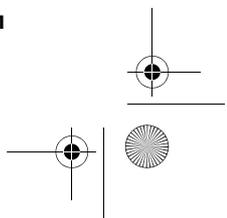
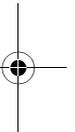
Um den Leser zu motivieren, wurde beim Aufbau des Textes an vielen Stellen auf das Hervorrufen von AHA – Effekten hingearbeitet; an anderen Stellen wird dem Leser das Gefühl vermittelt, etwas Besonders erreicht zu haben. Dadurch, dass neu Erlerntes gleich in die Praxis umgesetzt wird, verschwindet die Angst vor der Theorie, ein Glücksgefühl und Vergnügen am weiteren Lesen sind die Folgen.

Das Buch ist sehr logisch aufgebaut, Sachverhalte werden Schritt für Schritt erläutert, neues Wissen basiert in erster Linie auf bereits übermitteltem. Dabei wird der rote Faden, der von den untersten Grundlagen bis zu hoch komplexen Sachverhalten reicht, niemals aus den Augen verloren. Um beispielsweise ein Polygon zeichnen zu können, muss man wissen, wie ein Pixel auf dem Bildschirm gesetzt wird. Es lässt sich nicht über Techniken wie Polygonschattierung diskutieren, wenn einem der Rasterisationsprozeß unbekannt ist, usw. Weil das menschliche Denken sich an Bildern und Symbolen orientiert, wird an zahlreichen Stellen die Erklärung an eine bestimmte, einprägsame und logische Abbildung angelehnt.

## Geeignete Lesergruppen

Aufgrund der mathematischen Orientierung, des didaktischen Konzepts und der geringen Menge an erforderlichlichem Vorwissen richtet sich dieses Buch an eine Vielzahl von Lesergruppen:

1. Leser, die selbst komplexe Grafikeffekte darstellen möchten bzw. herausfinden wollen, wie diese funktionieren.
2. Personen, die sich schnell und effizient mit dem Thema vertraut machen müssen, z.B. Informatikstudenten während des Hauptstudiums.
3. Lehrkräfte, die geeignetes Unterrichtsmaterial für Fächer wie *Computer Graphics* o.ä. benötigen.
4. Leser, die effizient sämtliche Möglichkeiten nutzen möchten, die DIRECTX bzw. OpenGL bieten, da sie mit den zugrundeliegenden mathematischen Algorithmen im Rahmen des Buches vertraut gemacht worden sind.
5. Personen, die sich bereits durch Selbststudium mit dem Thema vertraut gemacht haben, und ihr Wissen vertiefen möchten oder noch offene Fragen haben.
6. Hobbyprogrammierer, die ihre Fähigkeiten auf einem neuen Gebiet erweitern möchten.
7. Schüler, die sich mit Computerspielen beschäftigt haben und wissen möchten, wie diese programmiert werden.
8. Erfahrene Grafikprogrammierer, die ein Nachschlagewerk für die mathematische Herleitung bestimmter Grafikeffekte benötigen, um diese weiterentwickeln zu können.



## Die Erweiterungen der zweiten Auflage

Das erste, zweite und neunte Kapitel sind komplett neu, ebenso die Texte ab der Mitte des siebten und achten Kapitels. Bei den wichtigsten Erweiterungen handelt es sich um:

- die Beschreibungen der **Feuer-, Plasma- und Linseneffekte** sowie der Darstellung der **Mandelbrotmenge** mit Vergrößerung eines benutzerdefinierten Bereiches im siebten Kapitel.
- die Darstellung einer dreidimensionalen Umgebung aus der Sicht mehrerer **beliebig orientierter Darstellungskameras**
- die Gegenüberstellung und Implementierung der beiden Methoden der **Navigation** innerhalb des dreidimensionalen Raumes. Die erste Methode simuliert jede Bewegung des Betrachters durch die Ausführung der entgegengesetzten Bewegung auf sämtliche Gegenstände der virtuellen Welt. Bei der zweiten Methode findet tatsächlich eine Bewegung des Betrachters statt.
- Diese beiden Themen, die Darstellungskameras sowie die Navigation innerhalb des dreidimensionalen Raumes werden im achten Kapitel behandelt, und basieren auf der Theorie der **lokalen Koordinatensysteme**.
- die **hardwarebeschleunigte Implementierung** der vorgestellten Theorie unter Verwendung von **OPENGL** und **DIRECTX 9**.
- Der bereits in der ersten Auflage des Buches vorgestellte **VTV Algorithmus** erscheint in einer neuen, stark verbesserten Version, die auf dem Rasterzeilenalgorithmus aus dem dritten Kapitel basiert. Bemerkenswert ist, dass dieser Algorithmus die hardwarebeschleunigte Darstellung einer dreidimensionalen Landschaft erheblich optimiert, und den für gewöhnlich in diesem Zusammenhang eingesetzten *Bounding Boxes* überlegen ist.
- Unabhängig vom VTV Algorithmus werden erweiterte Methoden der Visualisierung vorgestellt, wie beispielsweise die Generierung **zufälliger Landschaften** auf der Grundlage eines fraktalen Algorithmus oder die realistische **Darstellung von Schatten**.
- eine neue Art der Vorstellung des Begriffes der **Matrix** im dritten Kapitel. Anhand dieser Definition lässt sich die ab dem achten Kapitel vorgestellte Verwendung der **Hardwarematrizen** von **OPENGL** und **DIRECTX** besonders gut nachvollziehen.
- Ebenfalls neu sind die zahlreichen **Übungsaufgaben** und **Projekte** – diese gehen über die bloße Überprüfung des erworbenen Wissens hinaus, und dienen der Übertragung der bereits vorhandenen Kenntnisse auf neue Zusammenhänge.

Diese neuen Themengebiete werden mit Hilfe desselben anschaulichen und leicht verständlichen Prinzips wie in der ersten Auflage erklärt. Die Erweiterungen werden neben den entsprechenden Beispielprogrammen von **200** neuen Abbildungen begleitet.

Neben den beschriebenen Erweiterungen gibt es zahlreiche Verbesserungen der Texte aus der ersten Auflage. Grundsätzlich gilt, dass die Verbindungen zwischen den beschriebenen Themen klarer und leichter nachvollziehbar sind. Im Vordergrund steht nach wie vor der Aufbau der gesamten Computergrafik auf dem einfachen Begriff der **proportionalen Zuordnung** sowie der daraus hergeleiteten **linearen Interpolation**.

Neu ist der im ersten Kapitel vorgestellte, anschauliche **Mengenbegriff** nach **Cantor**. Auf dieser Grundlage wird im zweiten Kapitel der weitaus wichtigere Begriff der **Funktion** definiert, der im weiteren Verlauf des Buches in vielen verschiedenen Zusammenhängen auftritt. Beispiele hierfür sind die **Bezierkurven** und die **Splines** am Ende des zweiten Kapitels, die **Beleuchtungsfunktionen** im sechsten sowie die Methoden, mit deren Hilfe das **Aussehen von Plasmaeffekten** oder das **Vergrößerungsverhalten von Linsen** im siebten Kapitel gesteuert werden.

Die im dritten Kapitel stattfindende Vorstellung des Begriffes der **Matrix** ist ebenfalls komplett neu: Dieser ergibt sich automatisch aus der sehr leicht nachvollziehbaren Definition der **Linearität** von Funktionen – die Besonderheit hierbei ist, dass auf dem ersten Blick kompliziert anmutende Regeln wie die Matrizenmultiplikation, die nach der Regel *Zeile \* Spalte* erfolgen soll, lediglich eine einfache *Folgerung* aus dem Begriff der Linearität ist. Eine weitere wichtige Folgerung ist die Reihenfolge, in der Matrizen multipliziert bzw. hintereinander ausgeführt werden müssen.

Die **Projektion**, das heißt die Umwandlung dreidimensionaler Weltkoordinaten in zweidimensionale Bildschirmkoordinaten wird vor allem im Hinblick auf die lokalen Darstellungskameras ausführlicher als in der ersten Auflage behandelt. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Auswirkungen der Veränderung der Projektionskonstante sowie der Breite und Höhe des Darstellungsfensters auf die Ausgabe des Programms.

Eine weitere Neuerung ist die Trennung des Projektionsvorganges in zwei Schritten – der zweite Schritt, die Umwandlung eines rechteckigen Teilbereiches des zweidimensionalen Raumes, wird bereits im zweiten Kapitel vorgestellt und spielt zunächst eine große Rolle bei hardwarebeschleunigten Darstellungen.

Bemerkenswert ist jedoch der Einsatz dieser beiden Gleichungen im Zusammenhang mit dem **Mandelbrotfraktal**: Während die Darstellung des bekannten Erscheinungsbildes aus Abbildung 7.50 relativ einfach ist, stellt die **Vergrößerung eines benutzerdefinierten Bereiches** im Allgemeinen eine größere Herausforderung dar. Die im zweiten Kapitel im Zusammenhang mit der **Projektion von  $\mathbf{R}^2$  nach  $\mathbf{R}^2$**  vorgestellte Theorie erleichtert dieses Vorhaben jedoch erheblich, sodass die beschriebene Vergrößerung in Form einer Übungsaufgabe erfolgen kann.

Anders als in der ersten Auflage nutzen sämtliche Programme hohe Auflösungen ab **640x480** Pixel mit einer Farbtiefe von **32** Bit. Die Programmierung der dazugehörigen Farbpaletten ist dementsprechend einfacher und übersichtlicher, sodass

## Vorwort

die Hierarchie aus einfachen Farben auf der untersten Stufe, gefolgt von Farbverläufen mit Anfangs-, Zwischen- und Endfarben und schließlich Arrays aus Farbverläufen im Zusammenhang mit den Bitmaps weitaus leichter nachvollziehbar ist.

Die während des gesamten Buchverlaufes festzustellende Tendenz, bekannte Lösungen auf vollkommen neue Probleme zu übertragen, setzt sich auch hier fort: Während die Farbverläufe bei der einfachen Polygonschattierung im sechsten Kapitel eingesetzt werden, und die Arrays aus Farbverläufen im Mittelpunkt der Schattierung texturierter Polygone stehen, spielen letztere auch bei der Darstellung dreidimensionaler Landschaften eine wichtige Rolle: Wird das Aussehen der verschiedenen Höhenstufen einer Landschaft unter Verwendung spezifischer Bitmaps angegeben, schaffen die beschriebenen Verläufe weiche und realistische Übergänge zwischen den Höhenstufen.

Die Software- und die OpenGL-Darstellungen wurden nun auf GLUT portiert. Die auf diese Weise neu entstandenen zweihundert Beispielprogramme befinden sich auf der mitgelieferten CD. Diese lassen sich in unveränderter Form auf allen Betriebssystemen kompilieren und ausführen, die über GLUT-Implementierungen verfügen. Ausführliche Beschreibungen der Klassen, die zur Kommunikation mit dem Betriebssystem und für die Abfrage von Benutzereingaben eingesetzt werden, befinden sich in **Anhang C**; dieser liegt in Form einer PDF-Datei auf der CD vor.

Die bereits vorgestellten WINDOWS-Quelltexte arbeiten unter WINDOWS 7, VISTA und XP. Während die Ausgaben der OpenGL- und DirectX-Programme nach wie vor in einem Fenster angezeigt werden, besitzen die Softwaredarstellungen bildschirmfüllende Ausgaben mit einer Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten bei einer Farbtiefe von 32 Bit.

## Kontakt

Dringende Fragen, Kommentare, Erweiterungs- oder Verbesserungsvorschläge können entweder direkt an den Autor übermittelt werden:

`computergrafik_programmierung@gmx.de`

oder an den Verlag:

`info@mitp.de`

und der Verlag leitet die E-Mails an den Autor weiter.