

## Vorwort

Die Erzeugung und Verarbeitung graphischer Daten haben in den letzten zwanzig Jahren einen immer größeren Aufschwung erlebt und weit über die Informatik hinaus Verbreitung in den verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen sowie im täglichen Leben gefunden. So haben die rasante Entwicklung immer leistungsfähigerer Bildschirmgeräte, entsprechender Graphik-Spezialhardware sowie benutzerfreundlicher graphischer Software zum einen und das sich gleichzeitig immer günstiger gestaltende Preis-Leistungs-Verhältnis in diesem Sektor zum anderen dazu geführt, daß heute sowohl Arbeitsplatzrechner für den wissenschaftlichen Einsatz als auch Personal Computer im Büro oder zur privaten Nutzung durchwegs grafikfähig sind – zum Teil mit Möglichkeiten, die vor kurzem noch ausschließlich Großrechnern vorbehalten waren. Dadurch wird Computergraphik mittlerweile in vielfältiger Form und auf breiter Ebene eingesetzt:

- Die Didaktik nutzt in immer stärkerem Ausmaß die Möglichkeiten graphischer Datenverarbeitung – vom klassischen Telekolleg bis hin zu modernen Lehr- und Lernvideos sowie interaktiven Tutorials. Manche eher trockene Thematik läßt sich durch Computergraphik leichter und fesselnder vermitteln. Man denke nur etwa an die in den achtziger Jahren populären Visualisierungen von Julia-Fatou-, Mandelbrot- oder anderen fraktalen Mengen. Ein ganzer Zweig der Mathematik hat damals durch die Möglichkeiten der Computergraphik an Bekanntheit und Attraktivität gewonnen.
- Aus der Bürowelt (graphische Benutzeroberflächen, Präsentationsgraphiken, Desktop-Publishing), der Werbung (Prospekte, TV-Werbespots), dem Medienbereich (Trickfilmanimationen, Multimedia) und der Unterhaltungsbranche mit ihren Video- und Computerspielen ist die graphische Datenverarbeitung inzwischen nicht mehr wegzudenken.
- In vielen Bereichen der Kunst gewinnt die Computergraphik ebenfalls an Bedeutung. Als Beispiele hierfür mögen etwa Lehrveranstaltungen an der 1990 gegründeten *Kunsthochschule für Medien Köln* (Ästhetik computergenerierter Bilder; Konzeption, Gestaltung und Realisation einer 3D-Computeranimation) sowie das seit 1979 vom Österreichischen Rundfunk (ORF) veranstaltete *Festival Ars Electronica* dienen, an das seit 1987 auch der Wettbewerb *Prix Ars Electronica* angegliedert ist.

- Unter dem Schlagwort *Virtual Reality* findet die graphische Datenverarbeitung inzwischen verstärkt Eingang in die Medizin und die Architektur. Daneben spielen Virtual-Reality-Applikationen auch in klassischen Anwendungsgebieten der Computergraphik wie etwa Flugsimulatoren und Flugführungssystemen eine zunehmend wichtigere Rolle, beispielsweise bei der Generierung synthetischer Sicht.
- Auch in Forschung und Technik allgemein ist die graphische Datenverarbeitung zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel geworden. So werden beispielsweise im Ingenieurbereich Konstruktionspläne computerunterstützt erstellt, im Maschinenbau, in der Architektur, im Bauingenieurwesen oder in der Elektrotechnik wird oftmals nahezu der ganze Designprozeß im Rechner abgewickelt (*Computer Aided Design*). Aber auch der automatisierte Produktions- und Fertigungsprozeß wird mittlerweile immer mehr durch die produktbeschreibenden (auch graphischen) Daten gesteuert (*Computer Aided Manufacturing* bis hin zum *Computer Integrated Manufacturing*).
- Bei der numerischen Simulation von Prozessen, wie sie in Naturwissenschaft und Technik betrachtet werden, ist die *Visualisierung* der berechneten Ergebnisse zu einem entscheidenden Hilfsmittel geworden, um aus ihnen für den Menschen interpretierbare Resultate zu erhalten und komplizierte, sich in der Zeit verändernde Vorgänge zu veranschaulichen. Beispielsweise lassen sich das Verhalten von Strömungen (*Computational Fluid Dynamics*), chemische Reaktionen (*Computational Chemistry*), physikalische Abläufe auf verschiedensten Beobachtungsskalen von der Astrophysik bis hin zur Quantenmechanik (*Computational Physics*), ganze technische Fertigungsprozesse etwa im Halbleiterbereich oder auch Fragen des Umweltschutzes (Schadstoffausbreitung) sowie der Klimaforschung und Wettervorhersage auf modernen Hochleistungsrechnern immer präziser numerisch simulieren. Für die Auswertung der Simulationsergebnisse ist es dabei aufgrund der anfallenden Datenflut unerlässlich, die berechneten Daten anschließend aufzubereiten, graphisch darzustellen und dadurch einer Interpretation zugänglich zu machen.
- Schließlich ist auch die Visualisierung großer Datenmengen, wie sie von Meßgeräten geliefert werden, für die Verarbeitung und Auswertung solcher Daten von entscheidender Bedeutung. Hier sind beispielsweise Bilder und Meßdaten von Raumsonden (Voyager, Galileo) oder Satelliten (Meteosat, Landsat, Seasat, Geosat, ERS-1/2) zu nennen.

Das vorliegende Buch ist kein umfassendes Werk über Computergraphik. Es ist entstanden aus der Ausarbeitung einer dreistündigen Vorlesung über graphische Datenverarbeitung, die die Autoren mehrfach an der Technischen

---

Universität München und der Ludwig-Maximilians-Universität München für Studenten der Informatik sowie der Mathematik nach dem Vordiplom gehalten haben. Dementsprechend liegt der Schwerpunkt auf der Bereitstellung von Kenntnissen über die Grundlagen der graphischen Datenverarbeitung. Weiterhin flossen aber auch die beim Aufbau und der wiederholten Durchführung eines Praktikums zur Computergraphik gewonnenen Erfahrungen an verschiedenen Stellen mit ein.

Im Unterschied zu manch anderem einschlägigen Buch werden wir neben verschiedenen Verfahren zur Darstellung von Objekten auf dem Bildschirm oder auf anderen Ausgabegeräten auch deren Erzeugung im Rechner (Modellierung geometrischer Körper und zugehörige Datenstrukturen) genauer vorstellen. Damit wird eine Brücke von der reinen Computergraphik zur geometrischen Modellierung geschlagen, was gerade im Hinblick auf die zahlreichen Anwendungen im Bereich der Ingenieurwissenschaften (Maschinenwesen, Elektrotechnik, Bauingenieurwesen oder Architektur) als besonders wichtig erscheint.

Wer sich von diesem Buch die detaillierte Beschreibung eines Programmsystems zur Computergraphik erwartet, wird enttäuscht werden. Anstelle konkreter Programm- oder Programmierbeispiele werden wir vielmehr die generellen Prinzipien und Techniken besprechen, die für heutige Systeme zur Modellierung und graphischen Darstellung von Bedeutung sind. Graphikstandards und Programmpakete überleben sich fast schon im Jahresabstand, und ständig werden verbesserte und leistungsfähigere Systeme und Programmierumgebungen entwickelt. Auch davon wollen wir uns ein Stück weit frei machen. Ferner sei darauf hingewiesen, daß das vorliegende Buch lediglich in die Computergraphik einführen soll. Manche Teilaspekte können demzufolge nicht mit der Ausführlichkeit besprochen werden, wie sie bei einem umfassenden Buch über graphische Datenverarbeitung geboten wäre. Hier sei der interessierte Leser auf Standardwerke wie die Bücher von Foley, van Dam, Feiner und Hughes [FDFH97] sowie Newman und Sproull [NeSp84] verwiesen. Dagegen werden die grundsätzlichen Verfahren und Techniken nicht nur dargestellt, sondern wir versuchen, die einzelnen Schritte und Entscheidungen verständlich und nachvollziehbar zu machen, so daß der Leser die angestellten Überlegungen leicht auf verwandte Probleme übertragen kann.

Im ersten Kapitel behandeln wir Grundlagen der graphischen Datenverarbeitung wie Koordinatensysteme und Transformationen, zweidimensionales Clipping, effiziente Algorithmen zur Darstellung graphischer Primitive sowie verschiedene Farbmodelle. Das zweite Kapitel befaßt sich dann mit der geometrischen Modellierung dreidimensionaler Objekte, mit ver-

schiedenen Darstellungsarten für starre Körper sowie mit deren topologischer Struktur und geometrischer Attributierung. In diesem Zusammenhang wird auch die Realisierung von Freiformkurven und Freiformflächen angesprochen. Anschließend gehen wir in Kapitel drei zu den zentralen Fragestellungen bei der graphischen Darstellung dreidimensionaler Objekte über und diskutieren Parallel- und Zentralprojektion, Fragen der Sichtbarkeitsentscheids, Beleuchtungsmodelle sowie Schattierung, Transparenz, Ray-Tracing und Radiosity-Verfahren. Dabei wird insbesondere auf die zielsetzungsabhängige Wahl des Instrumentariums eingegangen, da die in letzter Zeit in den Vordergrund gerückten Echtzeitapplikationen grundlegend andere Techniken erfordern als etwa die Erstellung hochqualitativer, photorealistischer Einzelbilder. Im vierten und letzten Kapitel sprechen wir in loser Folge noch eine Reihe weiterführender Techniken wie Texture-Mapping, Stereographie, Fraktale, Grammatikmodelle und Partikelsysteme sowie einige ausgewählte moderne Anwendungsgebiete der graphischen Datenverarbeitung wie Animation, Visualisierung und Virtual Reality an und stellen kurz die jeweils zugrundeliegenden Konzepte vor.

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei Stefan Zimmer für viele hilfreiche Anregungen und fruchtbare Diskussionen sowie bei unseren Studenten Ulrike Deisz, Anton Frank, Thomas Gerstner, Klaus Nothnagel und Andreas Paul bedanken. Anton Frank, Thomas Gerstner und Andreas Paul haben durch zahlreiche wertvolle Tips aus der Praxis der Computergraphik dieses Buch nachhaltig bereichert, Anton Frank und Klaus Nothnagel haben mit großem Engagement die Abbildungen und Farbtafeln erstellt, und Ulrike Deisz gebührt unser Dank für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Anfertigung des Manuskripts. Bei den Herausgebern der Reihe *Mathematische Grundlagen der Informatik* – Prof. Dr. R. Möhring, Prof. Dr. W. Oberschelp und Prof. Dr. D. Pfeifer – bedanken wir uns für wertvolle Anregungen sowie für die Aufnahme unseres Buches in ihre Reihe. Dem Verlag Vieweg schließlich danken wir für die stets freundliche und entgegenkommende Zusammenarbeit.

Schließlich noch ein genereller Hinweis: Bilder und Visualisierungen von Daten sind fast immer sehr überzeugend – der Mensch glaubt, was er sieht. Allerdings kann die Computergraphik nur Daten darstellen, die ihr vorgegeben werden. Dies sollte man sich etwa bei der Visualisierung von Ergebnissen einer numerischen Simulation stets vor Augen halten. Letztendlich ausschlaggebend sind immer die Techniken und Verfahren, mit deren Hilfe das Datenmaterial erzeugt wurde. Auch völlig falsche Ergebnisse und Daten können zu eindrucksvollen Bildern führen [GIRa92].

München, im Januar 1996

H.-J. Bungartz, M. Griebel, Chr. Zenger

## Vorwort zur zweiten Auflage

Nach gut sechs Jahren liegt endlich die überfällige Neuauflage unserer *Einführung in die Computergraphik* vor. Über die Beseitigung kleinerer und größerer Unstimmigkeiten und Fehler, für deren Brandmarkung wir unseren Lesern sehr zu Dank verpflichtet sind, sowie den hoffentlich erfolgreichen Umstieg auf die neue Rechtschreibung hinaus wurde der Text dabei überarbeitet, aktualisiert und an verschiedenen Stellen ergänzt. An der Zielsetzung des Buches hat sich jedoch nichts geändert, und so haben wir auch die Grobgliederung beibehalten. Komplett neu gestaltet wurden die Abschnitte zur geometrischen Attributierung dreidimensionaler Objekte (Freiformkurven und -flächen etc.) sowie zur globalen Beleuchtung (Ray-Tracing, Radiosity etc.), etwas erweitert wurden die Ausführungen zur Visualisierung. In einem dritten Anhang haben wir schließlich einige Aufgaben aus dem vom ersten Autor 1999 konzipierten und an der TU München für Studenten der Informatik, Mathematik oder Ingenieurwissenschaften im Hauptstudium angebotenen Praktikum *Anwendungen der Computergraphik* zusammengestellt.

Auch die zweite Auflage wäre ohne die tatkräftige Unterstützung vieler nicht möglich gewesen. Stellvertretend für die kommentierende Leserschaft möchten wir an dieser Stelle Dr. Johannes Zimmer und Dr. Hans-Georg Zimmer erwähnen, deren Anregungen und Hinweise Diskussionen angestoßen und Missverständnisse ausgeräumt haben. Dr. Stefan Zimmer, Dipl.-Inf. Ralf-Peter Mundani und Dipl.-Inf. Andreas Kahler haben zur Neufassung des Textes wertvolle Beiträge geleistet. Die Anfertigung des Manuskripts lag bei Srihari Narasimhan, M.Sc., in den besten Händen. Ihnen allen gebührt unser herzlicher Dank. Dem Verlag Vieweg und namentlich Frau Ulrike Schmickler-Hirzebruch schließlich danken wir für die erneut äußerst konstruktive und gute Zusammenarbeit.

Stuttgart, Bonn, München, im April 2002

H.-J. Bungartz,  
M. Griebel,  
Chr. Zenger