

X . media . press



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Oliver Deussen

# Computergenerierte Pflanzen

Technik und Design digitaler Pflanzenwelten

Mit 177 Abbildungen und



Springer

Prof. Dr. Oliver Deussen

Technische Universität Dresden

Fakultät Informatik

01062 Dresden

<http://www.computerpflanzen.de>

E-Mail: [deussen@computerpflanzen.de](mailto:deussen@computerpflanzen.de)

**Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>.**

ISSN 1439-3107

ISBN 978-3-642-62835-1

ISBN 978-3-642-55822-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-55822-1

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Der Springer-Verlag ist nicht Urheber der Daten und Programme. Weder der Springer-Verlag noch der Autor übernehmen Haftung für die CD-ROM und das Buch, einschließlich ihrer Qualität, Handels- oder Anwendungseignung. In keinem Fall übernehmen der Springer-Verlag oder der Autor Haftung für direkte, indirekte, zufällige oder Folgeschäden, die sich aus der Nutzung der CD-ROM oder des Buches ergeben.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 2003

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka, Heidelberg

Texterfassung und Layout durch den Autor

Druck: Appl, Wemding

Bindearbeiten: Schäffer, Grünstadt

Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10877679

33/3142 ud

543210

Für Maria-Christina

# Vorwort und Danksagung

Nach einigen Jahren als Computergraphiker hat meine Begeisterung für die Herstellung synthetischer Bilder noch immer nicht nachgelassen. Wenn sich Bekannte mit weniger verrückten Berufen über meine Begeisterung wundern, so kann ich sie oft damit überzeugen, dass die Computergraphik eines der ganz wenigen Forschungsgebiete ist, in denen neben Algorithmen, Formeln und Tabellen auch Schönheit entsteht. Zwar eine ganz eigene Schönheit, aber eine, die den Betrachter oftmals gerade dann in den Bann zieht, wenn einfache mathematische Ansätze überaus komplexe und ästhetische Bilder entstehen lassen.

Außerdem gibt es nur wenige Forschungsgebiete, deren Entwicklung momentan so dynamisch erfolgt wie in der Informatik und insbesondere der Computergraphik. Während sich die Rechenleistung immer noch beachtlich entwickelt und etwa alle 18 Monate verdoppelt, ist die Leistung von Graphikchips in den letzten Jahren um ein Vielfaches stärker gestiegen. Heute lassen sich Bilder in Echtzeit erzeugen, deren Herstellung vor zwei bis drei Jahren noch Stunden erforderte. Zusätzlich zur Entwicklung der Hardware entstanden auch viele neue Algorithmen, die hier Entscheidendes leisten.

Neben technischen Aufgabenstellungen erforscht die Computergraphik aber auch ganz grundlegende Fragen. Bei der Erzeugung der Bilder stellt sich oftmals die Frage nach der Funktionsweise des menschlichen Sehens und der Informationsverarbeitung im Gehirn. Gerade die noch anzusprechenden nicht-fotorealistischen Bilder, also jene, die bewusst nicht wie Fotos aussehen, inspirieren die kognitive Psychologie und Physiologie. Das Spezialgebiet der synthetischen Pflanzenbilder ist überdies ziemlich interdisziplinär. Neben Kenntnissen der Botanik und Ökologie sind künstlerische Aspekte, mathematische Grundlagen sowie eine ganze Menge Physik zu beachten, was die Arbeit spannend und abwechslungsreich macht.

Das vorliegende Buch ist das Resultat einer Forschungsarbeit, die für mich im Jahre 1995 mit der Diplomarbeit von Bernd Lintermann begann. Er kam mit den Grundideen für ein Modellersystem zur Herstellung von organischen Architekturformen auf mich zu. Schnell erkannten wir, dass die Methode vorzüglich zur Erzeugung von Pflanzen zu missbrauchen war. Das System wuchs in den folgenden Jahren, heute betreiben wir hobbymäßig eine kleine Firma, die sich auf die Herstellung von Pflanzenmodellen spezialisiert hat und entsprechende Werkzeuge vertreibt.

Der Hauptteil meiner Arbeit ist aber die Erforschung der zugrunde liegenden Prozesse geblieben. Aus den Einzelpflanzen sind ganze Landschaften gewor-

den, Bilder unterschiedlichsten Aussehens entstanden, eine Reihe von Erkenntnissen wurde gewonnen – und ein Ende ist noch lange nicht in Sicht. In der Computergraphik darf man hin und wieder die Goldgräberstimmung erleben, die aufkommt, wenn sich durch einen Erkenntnisgewinn ein riesiges Areal neuer Möglichkeiten ergibt. Wer hat dieses Vorrecht schon?

Glücklicherweise bin ich beim Verfassen des Buches nicht ganz allein gelassen worden. Daher möchte ich den Personen danken, die mitgeholfen haben, die Qualität dieses Buchs zu steigern, und mir durch viele Diskussionen den Weg gewiesen haben. So wurden mir die Augen für die nichtrealistische Computergraphik durch Thomas Strothotte an der Universität Magdeburg geöffnet, dieses spannende Gebiet lässt mich bis heute nicht los und hat sich auch in den synthetischen Pflanzenskizzen am Ende des Buches niederschlagen.

Almut Gerhardt-Dircksen hat mich bei meinen allzu laienhaften Gedanken zur Botanik beraten und mir bei der Verfassung des entsprechenden Kapitels sehr geholfen. Ich hoffe, es nun auch Botanikern zum Lesen geben zu können ohne Zornesfalten zu provozieren. Przemyslaw Prusinkiewicz, mit dem ich über die Jahre einige Diskussionen zur Herstellung von Pflanzengeometrien hatte, hat trotz Sprachschwierigkeiten das Kapitel zur regelbasierten Pflanzenerzeugung durchgesehen und mir wertvolle Hinweise zu seinen Lindenmayer-Systemen gegeben. Marc Stamminger hat das Kapitel über Bilderzeugung korrigiert und mich darin bestätigt, dass man das große Gebiet der computergraphischen Bilderzeugung auf wenigen Seiten zumindest skizzieren kann, ohne zu sehr zu vereinfachen. Heino Hellwig hat sich das Kapitel zur mathematischen Beschreibung von Pflanzen angesehen. Dank auch an Klaus Hoedt, Ursula Zimper und an meine Frau Maria fürs Korrekturlesen sowie an Herrn Engesser für die kompetente und engagierte Beratung seitens des Verlages.

Beiliegende CD-ROM wäre wesentlich ärmer ohne die Daten, die mir Bernd Lintermann, Stewart McSherry und Tim Dapper zur Verfügung gestellt haben, vielen Dank auch an Arne Böttcher für sein Lily-Programm zur Erklärung von Lindenmayer-Systemen sowie an Kenton Musgrave und die Firma Maxon für die Programme zur Modellierung.

Ein Computergraphiker möchte auch ein gut aussehendes Buch abliefern. Ohne den L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Layoutstil von Ottfried Cheong Schwarzkopf wäre das viel schwerer gewesen, er hat mir viel Arbeit erspart.

# Inhalt

---

<b>1 Computergenerierte Pflanzen</b>	1
<b>Einleitung</b>	
1.1 Modellierung virtueller Landschaften	3
1.2 Bilderzeugung von virtuellen Landschaften	5
1.3 Anwendungen virtueller Landschaften	6
<b>2 Pflanzen</b>	9
<b>Botanische Beschreibung</b>	
2.1 Die Sprossachse	11
2.2 Knospung	13
2.3 Verzweigungsformen	14
2.4 Raumaufteilung	15
2.5 Tropismen	16
2.6 Architektonische Analyse von Bäumen	18
2.7 Blätter	19
2.8 Geobotanische Beschreibungsmethoden	21
2.9 Beschreibungsverfahren für Vegetation	24
<b>3 Ein wenig Mathematik</b>	29
<b>Pflanzen als mathematische Objekte</b>	
3.1 Geometrische und topologische Modelle	29
3.2 Verzweigungsstrukturen	30
3.3 Bäume als fraktale Objekte	32
3.4 Phyllotaxis	36
3.5 Beschreibung von Pflanzenpopulationen	39
3.6 Entwicklungsmodelle	41
<b>4 Prozedurale Modellierung</b>	45
<b>Einzelpflanzen werden programmiert</b>	
4.1 Zelluläre Automaten	46
4.2 Ein erstes kontinuierliches Modell	47

4.3	Dreidimensionale prozedurale Modelle	48
4.4	Regulation der Verzweigungsbildung	50
4.5	Darstellung über Partikelsysteme	51
4.6	Ein fraktales Baummodell	52
4.7	Geometrisches Modellieren	54
4.8	Ein Ansatz über Knospung	55
4.9	Eine kombinatorische Methode	57
4.10	Bäume aus Strängen	59
4.11	Approximatives Modellieren	61
4.12	Wachstum in Voxeln	62
4.13	Modellierung von Phyllotaxis	63
4.14	Offene Fragen	64
<b>5</b>	<b>Regelbasierte Modellierung</b>	<b>67</b>
	<b>Einzelpflanzen „ergeben“ sich</b>	
5.1	Ersetzungssysteme	68
5.2	Verzweigungsstrukturen	71
5.3	Dreidimensionale Fahrbefehle	73
5.4	Stochastische und parametrische Systeme	75
5.5	Kontextsensitive Systeme	77
5.6	Modellierung der Phyllotaxis	79
5.7	Animation mit L-Systemen	80
5.8	Interaktion von Pflanzen und Umwelt	81
5.9	Die Verwendung von Positionsinformationen	83
5.10	Iterierte Funktionensysteme	84
5.11	Objektinstanziierung	87
5.12	CSG-basierte Modellierung	89
5.13	Einordnung der Verfahren	91
<b>6</b>	<b>Regelbasierte Objekterzeugung</b>	<b>93</b>
	<b>Interaktive Modellierung</b>	
6.1	Algorithmische Multiplikation	94
6.2	Komponententypen	96
6.3	Kombination von Komponenten	103
6.4	Beispiele	104
6.5	Modellierung der Gesamtgestalt	107
6.6	Animation	110
6.7	Resümee	112
<b>7</b>	<b>Modellierung von Terrain</b>	<b>121</b>
	<b>Die Basis</b>	
7.1	Brown'sche Bewegung	122

---

7.2	Modellierung von Terrain	125	INHALT
7.3	Erosion	128	
7.4	Interaktion mit fraktalem Terrain	131	
<b>8</b>	<b>Modellierung von Bewuchs</b>	<b>133</b>	
	<b>Eine Landschaft entsteht</b>		
8.1	Direkte Spezifikation von Verteilungen	136	
8.2	Simulation einer Population	142	
8.3	Simulation einer Pflanzengesellschaft	144	
8.4	Reduzierung der geometrischen Daten	145	
8.5	Instanziierung von Pflanzenpopulationen	149	
8.6	Modellierung einer Beispielszene	152	
<b>9</b>	<b>Synthetische Landschaftsbilder</b>	<b>155</b>	
	<b>„Virtual Reality“</b>		
9.1	Lokale Beleuchtungsmodelle	158	
9.2	Die Rendering-Gleichung	159	
9.3	Radiosity	160	
9.4	Raytracing	161	
9.5	Weitere Bilderzeugungsmethoden	163	
9.6	Fotorealistische Landschaftsbilder	164	
9.7	Pflanzenbilder durch Raytracing-Verfahren	172	
9.8	Pflanzenbilder durch Radiosity-Verfahren	175	
9.9	Wann wirken Computerbilder realistisch?	176	
<b>10</b>	<b>Level-of-Detail-Repräsentation</b>	<b>185</b>	
	<b>Bilder schnell erzeugen</b>		
10.1	LOD-Methoden für geschlossene Flächen	186	
10.2	Statische LOD-Methoden für Bäume	187	
10.3	Dynamische punktbasierte Repräsentation	191	
10.4	Dynamische polygonale Repräsentation	193	
10.5	Punkt- und linienbasierte Darstellung	196	
<b>11</b>	<b>Landschaftsskizzen</b>	<b>207</b>	
	<b>Künstlerische Ausdrucksmöglichkeiten</b>		
11.1	Nicht-fotorealistische Bilderzeugung	208	
11.2	Traditionelle Zeichnungen von Pflanzen	213	
11.3	Synthetische Pflanzenzeichnungen	217	
11.4	Herstellung von Schraffuren	226	
11.5	Punktierte Abbildungen	232	
11.6	Resümee	238	

<b>A</b>	<b>Baumbestimmung</b>	241
	nach Hallé, Oldeman und Tomlinson	
<b>B</b>	<b>CD-ROM</b>	243
	<b>Praktische Anleitung</b>	
	B.1 Xfrog-Modellierumgebung	243
	B.2 Modellierung einer Blume	245
	B.3 Modellierung eines Baumes	250
<b>C</b>	<b>Glossar</b>	257
	<b>Abbildungsnachweis</b>	263
	<b>Literatur</b>	267
	<b>Index</b>	279