

Modellierung und Visualisierung digitaler Pflanzen: Methoden und Software

Georg Ohmayer

Fakultät Gartenbau und Lebensmitteltechnologie
Fachhochschule Weihenstephan
Am Staudengarten 10
85350 Freising
georg.ohmayer@fh-weihenstephan.de

Abstract: The extraction of the realistic geometry of a plant enables its use not only for the scientific study of plant growth, but for teaching in botany and above all for computer-assisted garden & landscape architecture. Moreover the spatial arrangement of plants and their development over time can be visualised. A variety of different methods for modelling such natural looking plants exist and powerful software is available.

1 Einführung und Problemstellung

In der Computergrafik werden schon seit den sechziger Jahren algorithmische Beschreibungsverfahren für Pflanzen, die möglichst realistisch aussehen sollen, untersucht. Zur Erstellung der Pflanzengeometrie existieren verschiedene Ansätze. Bei einem regelbasierten Vorgehen wird eine Pflanze durch iterative Anwendung eines formalen Regelsystems auf einen Anfangszustand erzeugt, während bei einem prozeduralen Ansatz eine Pflanze durch Anwendung eines parametrisierbaren Erzeugungsalgorithmus erstellt wird. Ziel solcher Pflanzenmodellierung ist, einerseits die Erstellung von digitalen Pflanzen für die virtuelle Welt (Filme, Computerspiele, etc.) zu ermöglichen und andererseits Computer-gestützte Garten- und Landschaftsplanung zu betreiben, insbesondere da längst auch leistungsfähige Software verfügbar ist.

2 Modellierungsmethoden

2.1 Botanische Gesetzmäßigkeiten

Eines der Ziele der Pflanzenmorphologie ist, in der Formenvielfalt der Pflanzen bestimmte Grundmuster zu erkennen und eine Klassifikation anhand charakteristischer Merkmale zu erstellen. Hilfreich für die Pflanzenmodellierung sind alle Regeln, die sich in irgendeiner Form algorithmisch umsetzen lassen, um die Wuchsform der Pflanzenachse, die Verzweigungsart bzw. Seitensprossbildung, die Formen von Blättern, Blüten und Früchten zu beschreiben. Ausführliche Darstellungen solcher Gesetzmäßigkeiten finden sich in [De94] und [Ka94].

Exemplarisch wird nur auf den *Goldenen Schnitt* als Prinzip zur Beschreibung der Blattstellung (Phyllotaxis) eingegangen. Der Divergenzwinkel zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Blättern ist bei vielen Pflanzen ca. $137.5^\circ \approx 360^\circ \cdot (1-g)$, wobei $g = (\sqrt{5}-1)/2 = 0.618033989\dots$ das Teilungsverhältnis des Goldenen Schnittes ist. Durch diese Anordnung überlagern sich die Blätter wenig, was zu bestmöglicher Ausnutzung von Sonnenlicht wie Regen bzw. zu günstiger Luftzirkulation führt, was die evolutionäre Begünstigung gerade dieser Blattstellung erklärt. Ein Mysterium bleibt allerdings die Frage, wieso die beiden Zielvorgaben 'Effektivität im biologischen System' und 'Harmonie in der Kunst' zu demselben Erklärungsmodell 'Goldener Schnitt' führen.

2.2 Regelbasierte Verfahren

Die schon 1968 von Aristid Lindenmayer eingeführten *L-Systeme* [Li68] sind formale iterative Textersetzungssysteme, die in Verbindung mit einer grafischen Interpretation der verwendeten Zeichen nicht nur zur Simulation von Zellteilungsprozessen, zur Erzeugung von Mustern der Muschelschalen, sondern eben auch zur Pflanzenmodellierung Verwendung finden können [Pr98].

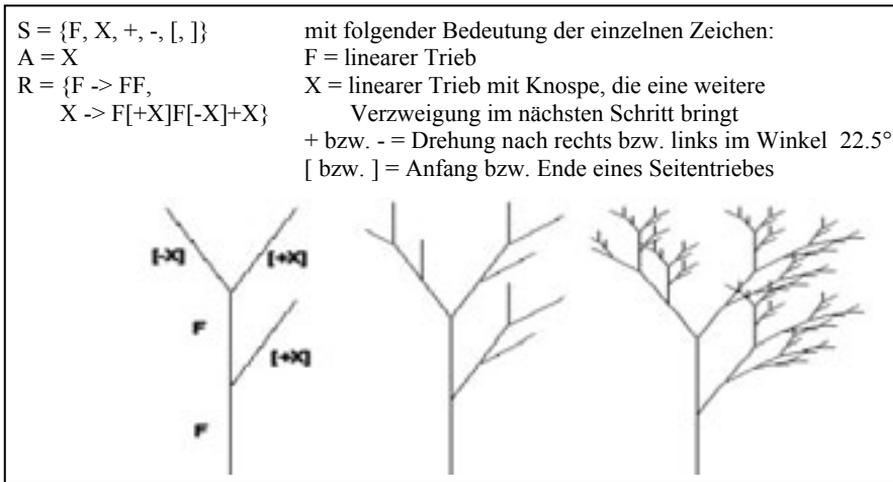


Abb. 1: Beispiel zur Erklärung der Arbeitsweise eines L-Systems

Ein L-System wird definiert durch (S, A, R) , wobei S = Menge der Symbole und ihre Bedeutung, A = Axiom = Startwert und R = Menge aller Ersetzungsregeln, die pro Iterationsschritt anzuwenden sind. Abbildung 1 zeigt ein einfaches Beispiel zunächst mit der Definition der Symbole und dann mit dem Ergebnis der Iterationsschritte 1, 2 und 4. Dieses L-System startet mit X , d.h. mit einem Trieb, und bildet im ersten Schritt mit Hilfe der zweiten Regel das in Abbildung 2 links gezeigte Muster mit drei Seitentrieben. Weitere Iterationen bringen Formen, die gut zu einer Gräserart passen könnten.

Um realistischere Pflanzenbilder zu erzeugen, können auch Blätter, Blüten und Früchte mit solchen Regeln modelliert werden. Außerdem werden die Regeln auf den 3D-Raum erweitert (siehe Abbildung 2). Durch geringfügige Änderung der Winkel über Zufallszahlen leicht auch biologische Variabilität modelliert werden.

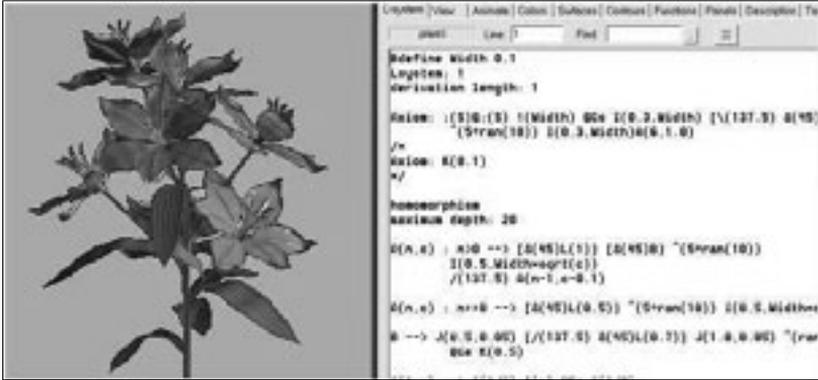


Abb. 2: Lilie, die mit der Software L-Studio über ein L-System erzeugt wurde

In [PJS92] wird ausführlich dargestellt, dass die für Nichtmathematiker schwer verständlichen *IFS* (Iterative Funktionen Systeme) dieselben Ergebnisse liefern wie die *MVKM* (Mehrfach-Verkeinerungs-Kopier-Maschine), mit deren Hilfe allerdings der Rückkopplungsprozess zur Erzeugung von Pflanzenbildern leichter nachzuvollziehen ist.

2.3 Prozedurale, Bildgesteuerte und sonstige Verfahren

Für eine konkrete Pflanze ein passendes Regelsystem zu finden, ist nicht automatisierbar und daher sehr zeitaufwändig [Mü95]. Außerdem ist es nicht möglich, Einflüsse wie den Kampf der Pflanzen um Licht, Platz u.a. zu simulieren. Deussen und Lintermann haben deshalb eine Methode entwickelt, die zwar das Basisgerüst der L-Systeme nutzt, aber zusätzlich ein *Baukastensystem* anbietet, mit dem die einzelnen Pflanzenteile in einer objektorientierten Weise modelliert und verbunden werden können [DL97], wie die Abbildung 3 zumindest ansatzweise zeigt.

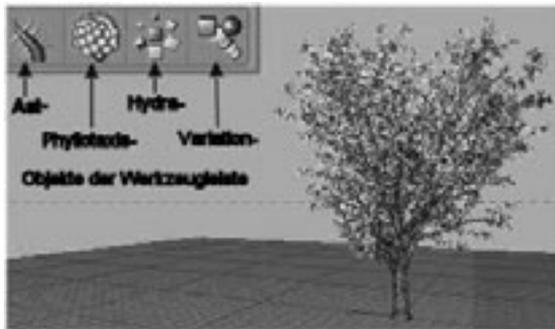


Abb. 3: Digitaler Baum, erzeugt mit dem Programm Xfrog

Bildgesteuerte Verfahren übernehmen zumindest halbautomatisch die Topologie einer Pflanze direkt aus einem Foto. Damit lassen sich schnell gute Ergebnisse erzielen [Qu06]. *Zelluläre Automaten* stellen ein Werkzeug bereit, um Musterbildungsphänomene zu modellieren [De94]. Es lassen sich Pflanzenverteilungen in einem Gebiet beschreiben, was zur Generierung einer digitalen Blumenwiese genutzt werden kann.

3 Verfügbare Software

In der folgenden Tabelle sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige der verfügbaren Software-Produkte beginnend bei einfachen Free- bzw. Sharewareprogrammen bis zu professionellen und kommerziellen Systemen zusammengestellt.

Name	Hersteller / Infos im Web	Verfügbarkeit *)	Voraussetzung
Fractree	Schernau M. / Mathematics Archives	W, F	
Mathlab95	www.math.tuwien.ac.at/mathnet	W, F	
Formelpflanzen	FH Weihenstephan / eMail an Autor	W, F	
Déjavu3D	Lenné3D / www.lenne3d.de	W, F	ESRI-ArcGIS
L-Studio Virtual Laboratory	University of Calgary / http://algorithmicbotany.org	W, 300 \$, D U, 500 \$	
Xfrog	greenworks organic-software www.xfrog.de	W / U / M, D 120 – ≈1000 €	CINEMA 4D oder MAYA
EASYnat	Bionatics / www.bionatics.fr	W, ≈ 1000 €	AutoCAD 8
*) W / U / M = Windows / Unix / Mac OS, F = Freeware, D = Demoversion verfügbar			

4 Einsatzgebiete

Solche Pflanzenmodellierungen sind aus theoretischen wie praktischen Gründen wichtig:

- Es besteht ein wissenschaftstheoretisches Interesse, denn vermutlich „arbeitet“ die Natur auch mit sehr einfachen Regeln, die - iterativ angewandt - zu den komplexen Strukturen des Lebens führen. Die Möglichkeit, das grundsätzliche Wuchsverhalten von Pflanzen am Computer zu studieren, kann die Lehre im Fach Botanik verbessern.
- Es gibt längst den praxisrelevanten Einsatz dieser Methoden in der Garten- und Landschafts-Planung. Da der Wachstumsprozess zeitabhängig modelliert wird, ist das zukünftige Aussehen eines Hausgartens oder Parks visualisierbar. Auch die visuelle Rekonstruktion ausgestorbener Pflanzen ist möglich. Filmemacher und Computerspiele-Produzenten nutzen diese Methoden bzw. die entsprechende Software.

Literaturverzeichnis

- [De94] Deutsch, A. (Hrsg.): Muster des Lebendigen, Vieweg-Verlag, 1994.
 [De03] Deussen, O.: Computergenerierte Pflanzen, Springer-Verlag, 2003.
 [DL97] Deussen, O.; Lintermann, B.: Erzeugung komplexer botanischer Objekte in der Computergrafik, Informatik-Spektrum 20/4, 1997, 208-215
 [Hü01] Hütt, M.-T.: Datenanalyse in der Biologie, Springer-Verlag, 2001.
 [Li68] Lindenmayer, A.: Mathematical models for cellular interaction in development, Parts I and II, Journal of Theor. Biology, 18, 1968, 280-315.
 [Mü95] Müller, S.; Duschl, C.; Ohmayer, G.: Beschreibung des Pflanzenwachstums mit Hilfe von L-Systemen am Beispiel der heimischen Holunder-Arten, ZAI, 2, 1995, 36-40
 [PJS92] Peitgen, H.-O.; Jürgens, H.; Saupe, D.: Bausteine des Chaos: Fraktale, Springer, 1992.
 [Pr98] Prusinkiewicz, P.: Modeling of spatial structure and development of plants: a review, Scientia Horticulturae 74, 1998, 113-149.
 [Qu06] Quan, L. et.al.: Image-based Plant Modeling, SIGGRAPH 2006