

Anwendung 1

Torben Wallbaum, BSc

Procedural Generation
Natural Environments out of the Box

Torben Wallbaum, BSc

Procedural Generation
Natural Environments out of the Box

Praktikumsbericht eingereicht im Rahmen der Vorlesung
Anwendung 1
im Studiengang Master Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Kai von Luck
Prof. Dr. Gunther Klemke

Abgegeben am 27. Februar 2010

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1. Motivation	4
2. Prozedurale Generierung	5
2.1. Einführung	5
2.2. Historie	6
2.3. Anwendungen und Kontext	7
3. Techniken der prozeduralen Generierung	8
3.1. Rauschen	8
3.2. Fraktale	10
3.3. Lindenmayer –System	11
3.4. Isofläche und Metaball	14
3.5. Partikel-Systeme	15
4. Zusammenfassung	16
5. Ausblick	17
6. Quellennachweise	18
7. Abbildungsverzeichnis	19

1. Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Techniken der prozeduralen Generierung. Sie finden heutzutage in vielen verschiedenen Gebieten ihre Anwendung. So werden sie zur Simulation und Modellierung von realitätsnahen Vorgängen verwendet und dienen der Untersuchung von zukünftigen Ereignissen und Abläufen. Aber auch zur Erstellung von multimedialen Inhalten innerhalb des Unterhaltungskontextes sind prozedurale Techniken dienlich. Nachfolgend werden Techniken und Möglichkeiten der prozeduralen Generierung aufgezeigt. Die Arbeit thematisiert entsprechende Herangehensweisen und Umsetzungen, Systeme und Algorithmen und stellt den aktuellen Forschungsstand vor. Aufgrund des Themenumfangs und dem breiten Spektrum bekannter Techniken kann innerhalb dieser Ausarbeitung nur auf wichtige und weitverbreitete Techniken Bezug genommen werden. Für weiterführende Informationen zum Thema wird auf die angegebene Literatur verwiesen, die einen umfangreichen Einblick in die Thematik ermöglicht.

1.1. Motivation

Die Verwendung von prozeduralen Techniken hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Dies ist bedingt durch die immer höheren Ansprüche an realitätsnähe und Individualität bei Computer-generierten Grafiken. Sowohl in Spielen als auch in anderen Medien - wie digitale Filmproduktionen - oder bei der Visualisierung von Landschaftsmodellen werden heute prozedurale Techniken eingesetzt, um große Mengen an Grafiken automatisiert zu erzeugen. Da die Möglichkeiten durch bessere Grafik-Hardware immer größer werden, ist davon auszugehen, dass der Wunsch nach immer detailreicheren Inhalten laut wird. Der Mehrarbeit, die hierdurch entsteht, kann mittels der Verwendung von prozeduralen Erzeugungsmethoden entgegnet werden.

Diese Ausarbeitung entstand innerhalb der Veranstaltung Anwendung 1 des Masters- Studiengang für Informatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Hamburg. Die hier vorgestellten Techniken sollen in Projekten umgesetzt werden und dienen als Grundlage und Einarbeitung in das Themengebiet der prozeduralen Generierung. Der Schwerpunkt innerhalb der Projekte soll auf der Erzeugung von natürlich Umgebungen liegen. Hierzu gehören die Untersuchung von Methoden zur Generierung von Bodenoberflächen, Pflanzenstrukturen, natürlichen Texturen u.a. In fortführenden Arbeiten, sollen unter anderem Wachstumsprozesse, Interaktions-Modelle für Pflanzen untereinander sowie die Animation von Bewuchs untersucht werden.

2. Prozedurale Generierung

Die Erstellung von Inhalten durch prozedurale Techniken ist seit längerer Zeit Bestandteil der wissenschaftlichen Forschung der Informatik. Insbesondere in Verknüpfung mit immer besserer und schnellerer Grafik-Hardware ist die Anwendung solcher Techniken in der heutigen, multimedialen Zeit sehr interessant. Man kann mit ihnen eine scheinbar unendliche Anzahl von Objekten erstellen. Auch die Optionen der Simulation und Modellierung von Prozessen sind nahezu unbegrenzt, Beispiele wären Wachstumsprozesse von Pflanzen oder moderne Stadtentwicklung. Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die Thematik, ihre Historie und Entwicklung.

2.1. Einführung

Als Prozedurale Techniken werden Algorithmen bezeichnet, die die Eigenschaften und das Aussehen von Oberflächen, Objekten u.a. erzeugen. So wird zur Darstellung einer Holz-Textur nicht ein Foto einer solchen Struktur verwendet, sondern diese wird durch mathematische Berechnungen erzeugt.

Ebenso können Geometriedaten von komplexen Formen und Modellen durch eine algorithmische Beschreibung erstellt werden. Diese Verfahren und Techniken der Prozeduralen Bildbearbeitung sind auch für andere Themen der Informatik adaptierbar. Prozedurale Techniken können so auch bei der Erzeugung von Audio-Inhalten oder der automatisierten Animation von einfachen und komplexen Objekten genutzt werden.

Allgemeine Vorteile der Prozeduralen Techniken sind zum einen die Option, umfangreiche Daten automatisiert zu erzeugen, zum anderen die geringe Datenmenge. Dem entgegen steht eine erhöhte Rechenleistung, die nötig ist, um die komplexen Rechengänge zur Erstellung der Inhalte durchzuführen. Da die Rechenleistung moderner CPUs allerdings stetig zunimmt, ist dies ein Nachteil, der in der heutigen Zeit eher zu vernachlässigen ist. Weiterhin kann die Erstellung eines Algorithmus zur Erzeugung von prozeduralen Inhalten einen hohen Grad an Komplexität mit sich bringen. Dies kommt vor allem dann zum Tragen, wenn die vorhandene Zeit nur knapp bemessen ist, oder keine guten Fachkräfte auf diesem Gebiet zur Verfügung stehen.

2.2. Historie

Prozedurale Techniken zur Generierung von Texturen und Geometrie finden ihre Anwendung schon seit den frühen Tagen der Computer-Graphik. Seit Mitte der 1980er Jahre fanden diese Techniken eine weite Verbreitung zur Generierung von natürlichen Texturen wie zum Beispiel Holz, Stein und anderen Arten von Oberflächen. Die vorhandenen Techniken wurden stetig erweitert und fanden ihren Nutzen in der Generierung von Modellen von Wasser, Rauch, Feuer und sogar ganzen Planeten. Die Veröffentlichung der RenderMan-Shading-Language (Pixar 1989) sorgte dafür, dass die Verwendung von Prozeduralen Techniken weiter zunahm. Die prozedurale Generierung von Geometrie und Texturen sowie die Nutzung in weiteren Kontexten wie zum Beispiel der Prozeduralen Animation sind auch heute Bestandteil der Wissenschaftlichen Forschung und aktives Feld in der Informatik. Die kontinuierliche

Weiterentwicklung von Grafik-Hardware ermöglichen es, immer feinere und komplexere Aufgaben zu bewältigen. So bedient man sich zum Beispiel in aktuellen Spielen der Möglichkeiten von prozeduralen Systemen, um nahezu unendlich große Spielwelten zu erzeugen oder eine realitätsnahe Vielfalt darzustellen.

2.3. Anwendungen und Kontext

Inhalte, die durch prozedurale Techniken entstanden sind, finden vor allem in Unterhaltungsmedien ihre Anwendung, so im Bereich der Spiele-Entwicklung oder dem der digitalen Filmproduktion. Die Bereiche Simulation und Modellierung sind zwei weitere Anwendungsgebiete in denen eine Verwendung von prozeduralen Techniken sinnvoll sein kann. So ist die Simulation von zum Beispiel umfangreichen Wachstumsprozessen oder die Darstellung von vielfältiger Geometrie eine Aufgabe, die durch die Verwendung von prozeduralen Techniken teilweise erst möglich wird.

Im Bereich der Spiele-Entwicklung gibt es zahlreiche Beispiele für die Verwendung prozedural erzeugter Inhalte. So besteht das Spiel Spore¹, in der der Spieler die Rolle eines sich stetig weiterentwickelnden Lebewesens übernimmt, fast ausschließlich aus solchen Inhalten. Sowohl die gesamte Umwelt in der der Spieler agiert, als auch die Spielfigur selbst und die gesamte Animation derselben, werden durch prozedurale Algorithmen beschrieben. Ein weiteres aktuelles Beispiel ist Left 4 Dead² – ein Horror-Spiel in der die Welt von Zombies bevölkert wird – es nutzt prozedurale Methoden zur dynamischen Erzeugung von Gegnern, um sich den Fertigkeiten eines Spielers anzupassen. Mit Terragen³ und Prozedural⁴ sind zwei Anwendungen vorhanden, die es ermöglichen Objekte wie Landschaften und Städte mittels prozeduraler

¹ <http://www.spore.com>

² <http://www.l4d.com>

³ <http://www.planetside.co.uk/terragen/productmain.shtml>

Methoden zu erstellen. Hier muss der Anwender nicht selber die Algorithmen erstellen, sondern kann mittels eines Editors verschiedene Effekte und Objekte kombinieren. Hiermit können sehr realitätsnahe Ergebnisse erzielt werden. Die vorhandenen Einsatzgebiete sind sehr umfangreich und es werden in Zukunft sicherlich noch viele weitere hinzukommen.



Abbildung I - Mittels Terragen erzeugtes Landschaftbild

3. Techniken der prozeduralen Generierung

Um prozedural generierte Inhalte zu erstellen, bedient man sich vieler unterschiedlicher Techniken. Ein Großteil davon ist seit den Anfängen der Computergrafik bekannt und ausreichend erforscht. Im Rahmen dieser Hausarbeit kann nur ein Auszug der Vorgehensweisen vorgestellt werden.

3.1. Rauschen

Bei der Erzeugung von prozeduralen Inhalten - wie zum Beispiel Texturen und Oberflächen - ist es sehr wichtig, ein möglichst natürliches Erscheinungsbild zu erreichen. Dazu verwendet man z.B. sogenannte Rauschfunktionen. Diese entstehen durch die Erzeugung von Zufallszahlen mittels eines PRNGs (Pseudo-

⁴ <http://www.procedural.com/>

Random-Number-Generator). Bei der Erzeugung von Texturen oder anderen Inhalten ist es wichtig, dass die Rauschfunktion nicht auf reiner Zufälligkeit basiert. Die verwendete Rauschfunktion muss parametrisierbar sein und bei identischen Parametern auch das gleiche Ergebnis liefern. Dies ist wichtig, da die Darstellung einer Oberflächenstruktur oder eines erzeugten Terrains während der Betrachtung zu jeder Zeit gleich sein soll.

Eine der bekanntesten Rauschfunktionen wurde um 1985 von Ken Perlin vorgestellt [PERL85]. Die sogenannte Perlin-Noise erfüllt zum einen die oben genannte Bedingung, zum anderen ist sie relativ einfach in der Anwendung. Die Perlin-Noise zählt zu den Lattice-Noise (Gitter- oder Rasterrauschen) welche auf Gradientenwerten basiert [Eber03, 69]. Zur Erzeugung eines Perlin-Rauschen wird unter anderem ein PRNG benötigt, der bei gleichen Eingabewerten die gleichen Ausgaben erzeugt. Die so generierten Zahlen werden anschließend interpoliert. Die verwendete Methode zur Interpolation ist hierbei zunächst nicht relevant, wobei eine Kubische Interpolation zu empfehlen ist, da hiermit eine gleichmäßige Darstellung erreicht werden kann.

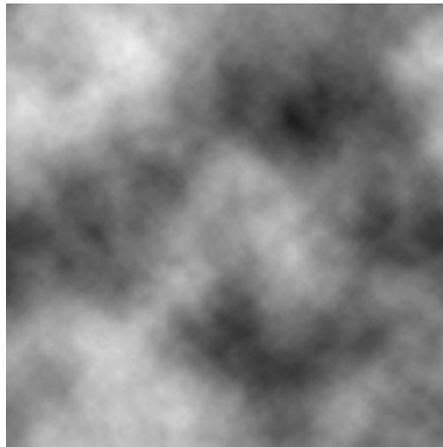


Abbildung II - Generiertes Perlin-Rauschen

Prozedurale Texturen haben gegenüber bildbasierten Texturen einige Vorteile. Prozedurale Repräsentationen von Texturen sind im Gegensatz zu Bildern sehr klein und kompakt. So haben Bilder, die als Texturen verwendet werden, eine

Größe, die im Megabyte-Bereich liegt. Prozedurale Texturen hingegen liegen hier zumeist im Kilobyte-Bereich. Ein weiterer Vorteil von prozedural erzeugten Texturen ist der, dass sie keine feste Auflösung haben. Oberflächen können so in jeder gewünschten Größe erzeugt werden, ohne dass dabei Wiederholungen oder „Nähte“ entstehen. Prozedurale Texturen haben desweiteren den Vorteil, dass sie parametrisierbar sind, somit kann eine ganze Klasse von Texturen erstellt werden, die sich in einer bestimmten Art und Weise ähneln. Ein Nachteil solcher Texturen ist, dass bei der Erzeugung etwas entstehen kann, das nicht den Erwartungen entspricht. Ein weiterer Nachteil ist der Mehraufwand an Rechenleistung, der benötigt wird, um eine Textur zu erstellen.

3.2. Fraktale

Unter Fraktalen versteht man geometrische Figuren und Gebilde, die sowohl künstlich geschaffen, als auch auf natürliche Art und Weise entstanden sein könnten. Der Begriff Fraktale wurde um 1975 von Benoît Mandelbrot geprägt und bezeichnet eben diese geometrischen Objekte, die einen hohen Grad an Selbstähnlichkeit aufweisen müssen, um als solche zu gelten. Der Begriff Selbstähnlichkeit bedeutet, dass ein Objekt aus vielen kleineren Teilen des Selbst gebildet wird. Man muss hier allerdings zwischen zwei Selbstähnlichkeiten unterscheiden: der statistischen Selbstähnlichkeit und der exakten Selbstähnlichkeit. Bei der ersteren ist lediglich die Statistik der Geometrie selbstähnlich, bei letzterer sind die kleineren Teile eine exakte Kopie der größeren [Eber03, 435]. Berühmte Beispiele für Fraktale sind die sogenannte Mandelbrot-Menge, die Julia-Menge oder auch die von Koch-Schneeflocke.

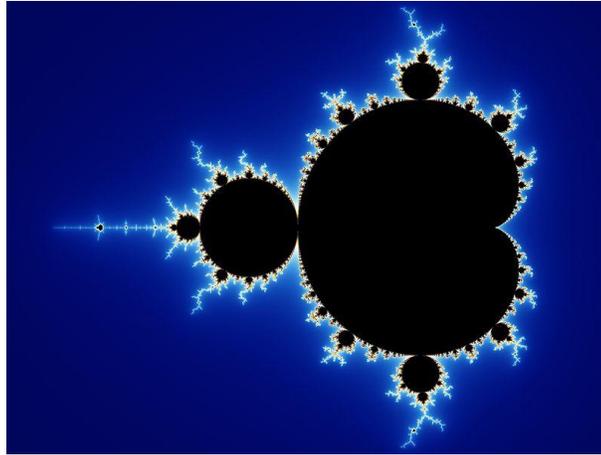


Abbildung III - Bild einer Mandelbrotmenge

Fraktale können ebenso wie das in Abschnitt 3.1. vorgestellte Rauschen in mehreren Gebieten der prozeduralen Generierung dienlich sein. Hierzu gehören zum Beispiel die Generierung von Terrain, die Darstellung von Wasser und Wolken. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Modellierung von Gewächsen wie zum Beispiel Bäumen oder Sträuchern [Deus03, 52]. Zur Erzeugung von fraktalen Objekten stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Die Iteration von mathematischen Funktionen ist die einfachste Möglichkeit. Hierbei werden Anweisungen in mehreren Schritten ausgeführt und erzeugen so das gewünschte Fraktal. Eine besondere Art stellen die sogenannten IFS-Fraktale (Iteriertes Funktionensystem) dar, die verschiedene Funktionen zur Erzeugung kombinieren. Auch mit Hilfe eines Lindenmayer-Systems kann man Fraktale generieren. Es handelt sich dabei um eine wiederholte Textersetzung. Im Abschnitt 3.3. werden die Lindenmayer-Systeme im Detail erklärt.

3.3. Lindenmayer-System

Das Lindenmayer-System wurde 1968 von Aristid Lindenmayer entwickelt. Im Ursprung handelt es sich um ein Textersetzungssystem zur Beschreibung der morphologischen Erscheinungsformen von Pflanzen [Deus03, 67]. 1990 wurde es von Przemyslaw Prusinkiewicz und Aristid Lindenmayer zu einem

vollständigen System zur Modellierung des Wachstumsverhaltens von Pflanzen erweitert [Eber03, 307].

Ein L-System besteht aus einer Grammatik über einem Alphabet aus Symbolen. Diese Symbole können sowohl Terminal- als auch Nichtterminal-Symbole sein. Eine gegebene Menge an Produktionsregeln überführt dann ein Initial-Wort in ein neues Wort mit neuer Länge. Das Lindenmayer-System gehört zu den deterministisch-kontextfreien Grammatiken, da die Ersetzung eines Symbols unabhängig von seinen Nachbarn - seinem Kontext – geschieht, und jedes Nichtterminal-Symbol nur eine einzige Produktion hervorruft. L-Systeme tauschen - im Gegensatz zu anderen Kontextfreien Grammatiken – so viele Symbole wie möglich innerhalb eines Ergebnisses aus. Somit werden die Produktionsregeln bei L-Systemen parallel angewendet. Beispielhaft für die Anwendung eines L-Systems soll nachfolgend die Erzeugung einer von Koch-Schneeflocke gezeigt werden.

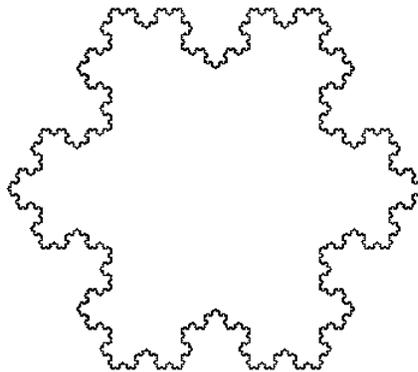


Abbildung IV - von Koch Schneeflocke

Bei einem Initial-Wort F und der Produktionsregel $F \rightarrow F + F - - F + F$ ergibt sich nach einigen Ersetzungen die in Abbildung IV dargestellte von Koch-Schneeflocke. Um das entstandene Wort in eine sichtbare Grafik zu transferieren, verwendet man die sogenannte Turtle-Grafik. Hierbei handelt es sich um eine imaginäre „Schildkröte“, die nach Vorgabe des Eingabe-Wortes Zeichenaktionen durchführt. So wird bei dem Symbol F eine Linie gezeichnet. Die Symbole $+$ und $-$ veranlassen eine Drehung um einen fest definierten Winkel (hier $\pm 60^\circ$). Zur Steuerung lassen sich beliebige Symbole hinzufügen. So

existieren zum Beispiel Symbole zur Speicherung einer Position, um an einem bestimmten Punkt zu einer Ausgangsposition zurückzukehren. Auch für die Darstellung im drei-dimensionalen sind Symbole zur Steuerung definiert. So ändern die Zeichen „+“ und „-“ die Drehung um die Z-Achse. „^“ und „&“ drehen um die Y-Achse, und „\“ sowie „/“ ändern den Winkel auf der X-Achse. Hinzu kommen u.a. noch Symbole zur Festlegung der momentanen Segmentdicken.

L-Systeme können in verschiedensten Kontexten zur Anwendung kommen. So werden sie zum Beispiel bei der Erzeugung von Fraktalen verwendet, wie das obige Beispiel zeigt. In „Texturing & Modeling: A Procedural Approach“ [Eber03, 310] wird beschrieben, wie L-Systeme dazu genutzt werden Baum-Modelle zu erstellen. Somit ist diese Technik sehr gut geeignet, um Verzweigungsstrukturen darzustellen. Durch die Erweiterung der klassischen L-Systeme von Prusinkiewicz et al. kann man ehemals statische Modelle animieren. Hier werden so genannte „getaktete L-Systeme“ genutzt, um das Wachstum einer Pflanze zu animieren. Jedem Symbol des Wortes wird eine Zahl zugeordnet, welche auf der linken Seite von Produktions-Regeln das Sterbealter und auf der rechten Seite das Initialalter darstellt. Somit haben Objekte, bezogen auf eine globale Zeit, einen bestimmten Zeitraum der Existenz.

Die Möglichkeiten von L-Systemen und deren Erweiterungen sind sehr umfangreich und können hier nicht in aller Detailtiefe dargestellt werden. Weiterführendes zum Thema findet man bei „Texturing & Modeling: A Procedural Approach“ [Eber03] und „Computer-generierte Pflanzen: Technik und Design digitaler Pflanzenwelten“ [Deus03].

3.4. Isofläche und Metaball

Die sogenannten Isoflächen wurden um 1982 von James F. Blinn beschrieben [Blin85].

Isoflächen oder auch Metabälle eignen sich sehr gut zur realistischen Darstellung von zähen Flüssigkeiten oder ähnlichen Materialien. Sie bieten ebenfalls eine gute Möglichkeit zur Visualisierung von Objekten wie zum Beispiel Rauch oder Wolken und anderer weicher Oberflächen. Ein Vorteil dieser Art von Fläche ist das gute visuelle Verhalten bei der Kombination von mehreren Objekten. Die entstehenden Verbindungen wirken natürlich und zeigen eine kantenfreie Vereinigung.

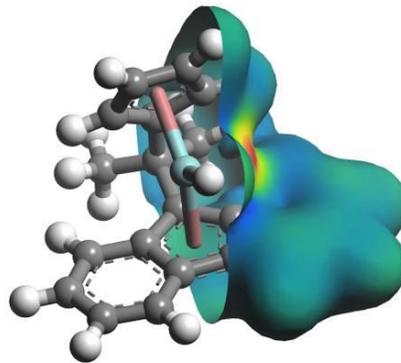


Abbildung V - Eine Isofläche über einem Molekül

Isoflächen entstehen durch die Verbindung von Werten gleicher Art. So kann beispielsweise ein Partikel im Raum von einem Dichtefeld umgeben sein. Die Werte dieses Dichtefeldes bilden die darzustellenden Punkte der Isofläche. Ist zum Beispiel die Dichte in einem Punkt des Dichtefeldes sehr hoch, so liegt die Isofläche an dieser Stelle nah am Partikel. Ist die Dichte hingegen nur schwach, ist die Isofläche an diesem Punkt weiter vom Partikel entfernt. Wird, wie in diesem Beispiel, nur ein einziger Punkt im Raum betrachtet, so entsteht durch das umliegende Dichtefeld eine Kugel - Vorausgesetzt das Dichtefeld ist gleichmäßig. Diese Kugel im Raum wird auch als Metaball bezeichnet. Nähert man zwei Metabälle aneinander an, so beeinflussen sich die jeweiligen

Dichtfelder gegenseitig. So entsteht bei der Visualisierung der Punkte der Isofläche eine Verbindung zwischen den beiden Metabällen. Isoflächen werden unter anderem zur Visualisierung von Daten aus einem MRT-Gerät verwendet. Die vom MRT gelieferten Daten stellen hierbei das benötigte Dichtfeld dar. Zur Darstellung von Isoflächen wird häufig der sogenannte Marching-Cubes-Algorithmus angewendet. Hierbei werden die vorliegenden Daten, welche zumeist als Voxel-Daten und nicht als Polygon-Drahtgitter-Daten vorliegen, in ein Polygon-Model überführt. Um dies zu erreichen, werden kleine Würfel erzeugt, die man an geeigneter Stelle teilen muss, damit sie sich an die darzustellende Fläche möglichst exakt anschmiegen.

3.5. Partikel-Systeme

Partikel-Systeme wurden zuerst von William T. Reeves 1983 in [Reev83] vorgestellt. Sie eignen sich besonders gut zur Darstellung von unscharfen bzw. weichen Objekten, wie zum Beispiel Rauch, Wolken, Wasser, Schnee, Regen und anderen natürlichen Effekten. Eine wichtige Rolle nehmen Partikel-Systeme besonders in der Animation solcher Objekte ein. Jedes Partikel-System besteht aus zweierlei Komponenten.

Die eine ist eine Sammlung einzelner Partikel-Objekte, die verschiedene Attribute wie Lebenszeit, Position, Beschleunigung u.a. besitzen; die andere ist der Algorithmus, der Formation und Bewegung der Partikel vorgibt [Eber03, 275ff]. Umfangreiche Partikel-Systeme, die aus mehreren tausend Objekten bestehen, sind der Darstellung von komplexen Strukturen zwar sehr dienlich, bringen allerdings auch lange Rechenzeiten mit sich.

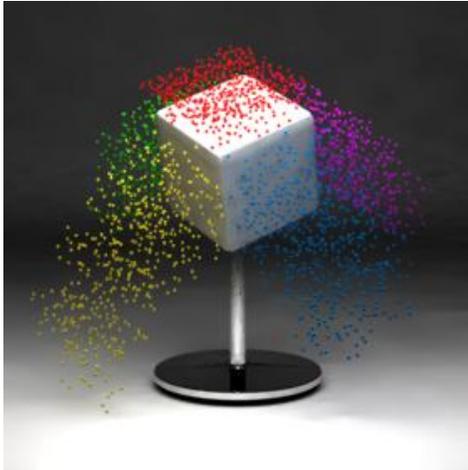


Abbildung VI - Ausschüttung einzelner Partikel



Abbildung VII - Partikel mit langer Lebenszeit

Mittels einer Erweiterung der Partikel-Systeme, den Strukturierten-Partikel-Systemen, die von Reeves und Blau 1985 vorgestellt wurden, kann man nun auch feste Objekte, wie Grass, Bäume, Haare oder Kleidung modellieren. Hierbei stellen die Partikel keine einzelnen unabhängigen Objekte dar, sondern befinden sich in einem komplexen Verbund zueinander. Jedes Partikel stellt so einen Teil des ganzen Objektes dar, wie zum Beispiel einen Teil eines Grashalms oder die Spitze eines Astes. Vergleichbar ist diese Art der Partikel-Systeme mit den oben vorgestellten L-Systemen. Allerdings stellen diese, im Gegensatz zu L-Systemen, nicht ein möglichst realitätsnahes Abbild dar, sondern dienen lediglich der visuell ansprechenden Darstellung von zum Beispiel Pflanzen. Die biologische Korrektheit dieser Darstellung ist nicht gegeben, allerdings ist sie hier auch nicht gefordert.

4. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden einleitend einige grundlegende Vorgänge und Möglichkeiten der Prozeduralen Generierung aufgezeigt. Die dargestellten Techniken, wie Rauschen, Fraktale oder auch Lindenmayer-Systeme ermöglichen es, eine prozedurale Realisierung von Grafiken zu wählen und bilden die Basis für viele

weitere Effekte und Modelle. Unter Einsatz Prozeduraler Generierung können komplexe grafische Strukturen und Gebilde innerhalb kleiner Datenmengen gespeichert werden. Dies wird durch die sogenannte Data-Amplification ermöglicht. Hierunter versteht man die Vermehrung der Daten zur Laufzeit basierend auf einem Initialen Datensatz oder verwendeter Parameter. Dem gegenüber steht der Mehraufwand an Rechenleistung, der zur Berechnung der verwendeten Algorithmen benötigt wird. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zur automatisieren Erstellung einer Klasse an Modellen oder Texturen anstelle der Generierung eines einzelnen Objektes. Die Techniken zur Erzeugung von prozeduralen Inhalten sind teilweise sehr komplex und umfangreich. Sie bieten allerdings zeitliche Vorteile gegenüber der manuellen Erstellung von Inhalten und sind dieser somit bei großen Mengen an Inhalten vorzuziehen.

5. Ausblick

In einem fortführenden Projekt zum Thema sollen die hier vorgestellten Techniken zur prozeduralen Generierung praktisch umgesetzt werden. Im Mittelpunkt soll zunächst die Erzeugung natürlicher Texturen wie Blattstrukturen, Rinde sowie Bodentexturen liegen. Ebenfalls wird die Umsetzung eines Lindenmayer-Systems zur Generierung von Fraktalen-Strukturen und somit von Verzweigungsstrukturen bei Bäumen und Pflanzen angestrebt. Hinzu kommt die vertiefende Einarbeitung in die Thematik, mit besonderem Augenmerk auf natürlichen Umgebungen und natürlichen Objekten wie Pflanzen, Terrain, Wolken, Rauch sowie Wasser. Die gewonnen Erkenntnisse sowie eine detaillierte Beschreibung der eingesetzten Techniken und Algorithmen sollen in einer weiteren Ausarbeitung folgen. Diese ist wiederum Grundlage für ein weiteres Projekt, welches sich tiefergehend mit bestimmten Teilproblemen wie zum Beispiel der Interaktion zwischen Pflanzen und ihrer Umgebungen, der prozeduralen Animation von Bewuchs, der Simulation von Wachstumsprozessen und der Beeinflussung durch externe Faktoren wie Witterung und menschliche Einflüsse befassen soll.

6. Quellennachweise

[Blin85]: Blinn, James F.: A Generalization of Algebraic Surface Drawing, ACM Transactions on Graphics Vol. 1 No.3 S. 235 - 256, July 1982

[Deus03]: Deussen, Oliver Prof. Dr.: Computer-generierte Pflanzen: Technik und Design digitaler Pflanzenwelten, Springer-Verlag 2003

[Deus04]: Deussen, Oliver Prof. Dr. / Ebert, David S. / Fedkiw, Ron / Musgrave, F. Kenton / Prusinkiewicz, Przemyslaw / Roble Doug / Stam Jos / Tessendorf Jerry: The Elements of Nature – Interactive and Realistic Techniques, SIGGRAPH 2004 – Course 31

[Eber03]: Ebert, David S. / Musgrave, F. Kenton / Peachey, Darwyn / Perlin, Ken, Worley, Steven: Texturing & Modeling: A Procedural Approach, Morgan Kaufmann 2003

[O'Neil01]: O'Neil Sean: A Real-Time Procedural Universe, Gamasutra Article (4 Parts):http://www.gamasutra.com/view/feature/3098/a_realtime_procedural_universe_.php

[Perl85]: Perlin, Ken: An Image Synthesizer, SIGGRAPH 1985 – Volume 19

[Reev83]: Reeves, William T.: Particle Systems: A technique for modeling a class of fuzzy objects, ACM Transactions on Graphics Vol.17 No. 3, 1983

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung I - Mittels Terragen erzeugtes Landschaftsbild.....	8
http://www.terrigen.com	
Abbildung II - Generiertes Perlin-Rauschen.....	9
http://en.wikipedia.org/wiki/Perlin_noise	
Abbildung III - Bild einer Mandelbrotmenge	11
http://en.wikipedia.org/wiki/Mandelbrot_set	
Abbildung IV - von Koch Schneeflocke	12
http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Sabrina_Mueller/Geschichte_der_Zahlen/Bilder/kochsche_schneeflocke.PNG	
Abbildung V - Eine Isofläche über einem Molekül.....	14
http://en.wikipedia.org/wiki/Isosurface	
Abbildung VI - Ausschüttung einzelner Partikel	16
http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_system	
Abbildung VII - Partikel mit langer Lebenszeit.....	16
http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_system	