

Lab Report

Master Projekt System Entwicklung, SS 2013
(*Prof. Dr. J. Wietzke, Prof. Dr. E. Hergenröther*)

„Strömungssimulation in der erweiterten Realität“

vorgelegt von

T. Sturm (709794)

A. Holike (724986)

S. Arthur (715720)

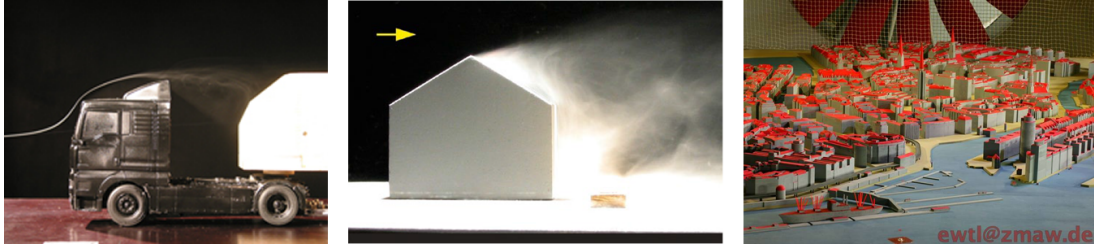
M. Djakow (718531)

6. März 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Bestehende Arbeiten	3
3	Konzept	4
4	Realisierung	5
4.1	Hardwareaufbau	5
4.2	XNA Game Studio 4.0 + Kinect SDK	6
4.3	Die Hauptanwendung	7
4.4	Die Datencontainer	8
4.5	Kinect Integration	10
4.6	Das Terrain	11
4.7	Das Kamerasystem	15
4.8	Das Partikelsystem	16
4.9	Die Physik	17
4.10	Die Benutzeroberfläche	18
4.11	Reflection	19
5	Ergebnisse	20
6	Probleme	21
6.1	Echtzeitfähigkeit	21
6.2	Darstellung	21
7	Fazit & Ausblick	22

1 Einleitung



Die Technik der Strömungssimulation spielt heutzutage eine größere Rolle den je. Lange ist es her das Windkanäle nur zur Erforschung und Verbesserung der Aerodynamik von Flugzeugen genutzt wurde. Heute gibt es kaum noch ein Kraftfahrzeug das nicht im Windkanal optimiert wurde und auch Architekten und Statiker nutzen immer häufiger den Windkanal um ihre Konstruktionen und Berechnungen zu überprüfen. Ein relativ neues Thema in diesem Gebiet ist die Untersuchung kompletter Stadtteile und Städten im Windkanal. Durch den enormen Anstieg von neuen Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten in den letzten Jahrzehnten, schrumpft der Anteil von freien und natürlichen Flächen immer weiter, wodurch die Frischluftzufuhr negativ beeinflusst wird und sich das Klima in Städten stetig weiter erwärmt und verschlechtert. Um dieser Entwicklung entgegen zu wirken nutzen auch Städteplaner immer häufiger die Vorzüge des Windkanals.

So nützlich der Windkanal auch für alle vorgestellten Anwendungen ist, so ist dessen Nutzung auch immer mit sehr hohen Kosten verbunden. Durch die immer weiter steigende Leistung von Computern liegt es deshalb nahe, zu versuchen, erste Tests und Untersuchung von der Realität auf den Computer auszulagern und auf diesem zu simulieren. Genau aus diesem Gebiet bestand der Hauptteil unserer Forschung in diesem Semester. Um dieses doch sehr mathematische und trockene Thema für Außenstehende noch etwas attraktiver und greifbarer zu machen haben wir es jedoch, mit Hilfe der Kinect Kamera von Microsoft, noch um eine Interaktive Komponente erweitert.

Auf den Folgenden Seiten werden wir nun unser Vorgehen sowie die Fortschritte, Erfahrungen und Ergebnisse dieses Projekts vorstellen.

2 Bestehende Arbeiten

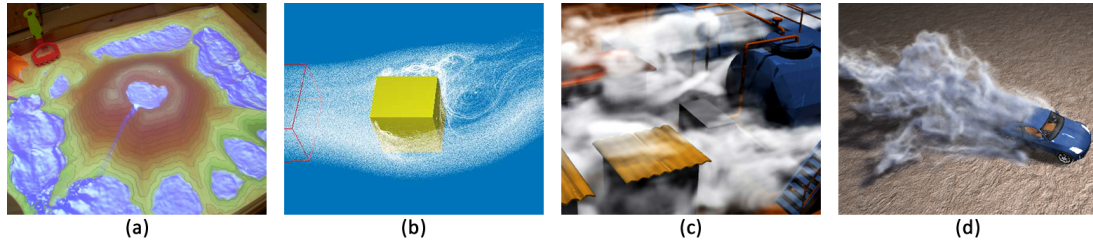


Abbildung 1: (a) Augmented Reality Sandbox. (b) A Particle System for Interactive Visualization of 3D Flows. (c) Synthetic Turbulence using Artificial Boundary Layers. (d) Scalable Fluid Simulation using Anisotropic Turbulence Particles

Bevor wir auf unsere eigene Arbeit eingehen, wollen wir kurz einige andere Arbeiten vorstellen, die sich mit ähnlichen Themen beschäftigen und an denen wir uns zum Teil orientiert haben.

Beginnen wollen wir mit der *Augmented Reality Sandbox* [Kreylos2010] einem beeindruckenden Projekt der *University of California* in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungsinstituten, welches die Grundidee zu unserer Integrierung der Kinect 3D Kamera von Microsoft und dem Sandkasten lieferte. Ziel dieses Projekts war es, mit Hilfe der Kinect Kamera, eine spielerische Möglichkeit zu entwickeln, die es erlaubt topologische Landschaft, durch formen des Sandes mit den eigenen Händen, zu erstellen. Zusätzlich nutzen sie auch ein physikalisches System zur Simulation von Wasser, die man in Abbildung 1 gut erkennen kann.

Mit physikalischen System in Bezug auf Strömungssimulation beschäftigen sich auch die folgenden Arbeiten. *A Particle System for Interactive Visualization of 3D Flows* [Krueger2005] ist zwar schon etwas älter, aber es ist eine der ersten Arbeiten in der mit der Auslagerung der Physikberechnung auf die GPU, um realistische Echtzeitströmungen zu simulieren, experimentiert wird. Zudem werden sehr interessante Konzepte genutzt, wie zum Beispiel die Speicherung der Partikelpositionen in einer Textur, die gleichzeitig als Ein- und Ausgabecontainer zwischen den einzelnen Berechnungsschritten dient.

Eine weitere interessante Arbeit ist *Synthetic Turbulence using Artificial Boundary Layers* [Pfaff2009]. Hier werden vorberechnete Strömungsfelder zur Simulation der Partikel genutzt, umso extrem realistische Darstellungen zu realisieren. Durch die Vorberechnung verfügt dieses Verfahren aber leider über keine Echtzeitfähigkeit. In der Folgearbeit *Scalable Fluid Simulation using Anisotropic Turbulence Particles* [Pfaff2010] wird dieses Manko, durch starke Parallelisierung und der Berechnung vieler kleineren Einzelsimulationen, allerdings behoben.

3 Konzept

wie sieht unser konzept aus

4 Realisierung

In diesem Kapitel wird die Realisierung des Projekts erläutert. Begonnen mit dem Hardwareaufbau über die Wahl der Frameworks, das Grundgerüst der Anwendung, die Integration der *Kinect*-Kamera, dem Aufbau des Kamera-Systems und der Terrain-Darstellung bis zum Partikelsystem samt Physik.

4.1 Hardwareaufbau

Die Hardware

Die Konstruktion

Der Aufbau

4.2 XNA Game Studio 4.0 + Kinect SDK



Für die Interaktion mit der *Kinect*-Kamera und der Darstellung der Landschaft und des Partikelsystems haben wir uns für das *XNA Game Studio 4.0* und das Kinect SDK von *Microsoft* entschieden. Das *XNA Game Studio* ist eine Programmierumgebung die auf *Visual Studio* basiert und zur Entwicklung von Spielen für *Windows-Phone*, *XBox 360* und *Windows*-basierten Computern entworfen wurde. Bestandteil des *XNA Game Studio* ist das *XNA Framework*, welches mehrere auf dem *.Net-Framework* basierende Bibliotheken vereint und eine sehr einfache und angenehme Schnittstelle zu diesen bereitstellt.

Dazu gehören:

DirectX

DirectX ist eine API für hochperformante Multimedia-Anwendungen und kommt meist bei der Hardware-beschleunigten Darstellung von 2D- und 3D-Grafiken zum Einsatz.

XInput

XInput ist eine API zur Verarbeitung von Benutzereingaben über Maus, Tastatur und den *XBox 360* Controller.

XACT

XACT(Microsoft Cross-Platform Audio Creation Tool) stellt einfache Schnittstellen zur Audiowiedergabe und der Verknüpfung von Sounds an bestimmte Ereignissen bereit.

In unserer Implementierung wird ausschließlich DirectX für die Darstellung und XInput für die Verarbeitung der Benutzereingaben genutzt. Zudem kommt zusätzlich das *Kinect SDK* zur Ansteuerung der *Kinect*-Kamera zum Einsatz, welches auch auf dem *.Net-Framework* basiert und sich dadurch nahtlos und ohne weitere Anpassungen in das System integrieren lässt.

4.3 Die Hauptanwendung

Nachdem der Hardwareaufbau und die Wahl der Frameworks vollendet war, ging es daran den Aufbau der Hauptanwendung, welche als Einstiegspunkt für alle weiteren Aufgaben fungiert, zu entwerfen.

4.3.1 Die Anforderungen

4.3.2 Die Umsetzung

Als Start der Umsetzung diente ein leeres XNA-Projekt, welches bereits

4.4 Die Datencontainer

Um die Echtzeitfähigkeit unseres Systems wieder herzustellen, benötigt es der GPU-Unterstützung. Bevor wir in technische Details verfallen, werden wir einen kleinen Exkurs machen wie GPUs eigentlich arbeiten.

4.4.1 Die GPU

CPUs und GPUs weisen grundlegend verschiedene Architekturen auf.

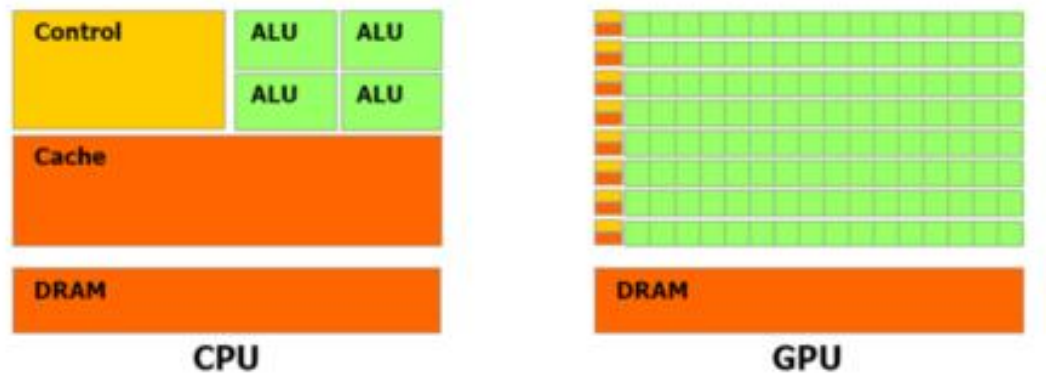


Abbildung 2: GPU-Architektur

TODO: geklaut hier: <http://www.tomshardware.de/CUDA-Nvidia-CPU-GPU,testberichte-240065-2.html>

Während eine CPU einen relativ großen Befehlssatz hat um Ganz- oder Fließkommazahlen zu verarbeiten, besitzt hingegen eine GPU einen sehr kleinen Befehlssatz und kann lediglich Fließkommazahlen verarbeiten. Der große Vorteil einer GPU jedoch ist das sie die Möglichkeit besitzt Berechnungsaufgaben an verschiedene kleinere CO-Prozessoren sogenannte Shader-Units abzugeben. Durch das zuweisen einer Aufgabe pro Shader-Unit erlaubt eine GPU somit das hoch-parallele abarbeiten von Aufgaben - solange diese unabhängig voneinander sind. Diese parallele Programmierung hat jedoch auch Nachteile. Nicht nur das es einer speziellen Programmierung benötigt - sogenannte Shader-Programmierung (Shader-Programme). Sondern es setzt auch Vorraus, das jede Shader-Unit das gleiche Shader-Programm ausführt. Besitzen jedoch die zu verarbeitenden Berechnungen genug Unabhängigkeit, so kann eine erhebliche Beschleunigung durch den Einsatz einer GPU welche meist hunderte von Shader-Units besitzt erzielt werden.

4.4.2 GPU-Programmierung

GPUs und CPUs besitzen unabhängigen Speicher es benötigt somit nicht nur spezieller Programme, sondern auch den schwierigen Teil der GPU Programmierung - den Datentransport zwischen den Speichern. Zur Vereinfachung nehmen wir in nachfolgenden Kapiteln an, das wir folgendes Viereck zeichnen möchten.



Abbildung 3: Das Viereck

Indexbuffer

GPU-Programmierung

4.4.3 Datencontainer

4.5 Kinect Integration

hier wird die dll erklärt und wie sie eingebunden wird
kinect baut metrik vom bild um veraenderungen wahrzunehmen
sendet event nur wenn neues Tiefenbild vorhanden
tiefenbild blur

4.6 Das Terrain

Nachdem das Grundgerüst der Anwendung stand und wir die Kinect Kamera erfolgreich eingebunden hatten ging es daran uns um die Umsetzung der Terraindarstellung zu kümmern.

4.6.1 Die Grundgeometrie

Als Grundgeometrie für die Darstellung unseres Terrains erzeugen wir ein flaches reguläres Gitter, dass in der X-Z-Ebene aufgespannt ist (s. Abbildung 4). Die Größe und die Anzahl der Unterteilungen des Gitters wurde variabel gestaltet, um im späteren Verlauf der Entwicklung, einfacher unterschiedliche Konfiguration zu testen.

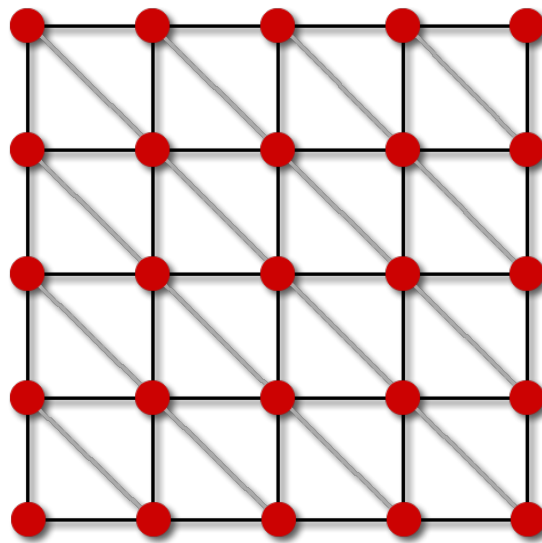


Abbildung 4: Reguläres Gitter des Terrains.

4.6.2 Die Höhendaten

Um mit dem zuvor erstellten regulären Gitter ein vollständiges Abbild unserer Sandkastenlandschaft zu repräsentieren, musste nun noch ein Weg gefunden werden die von der Kinect gelieferten Höhendaten in das Model zu integrieren.

Der erste Schritt auf diesem Weg besteht aus einer Vorverarbeitung der gelieferten Daten. Die Kinect liefert uns ein Short-Array mit 307200 Werten, was einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln entspricht. Da der Aufbau unseres Sandkastens sowie unseres regulären Gitters allerdings quadratisch ist, müssen wir die gelieferten Daten auch auf dieses Maß beschneiden. Dazu durchlaufen wir das gelieferte Array und extrahieren daraus einen inneren quadratischen Bereich, für den, genau wie bei unserem regulären Gitter, eine variable Größe gewählt werden kann. Abbildung 5 zeigt diesen Vorgang.

Um die vorarbeitenden Daten nun auf das reguläre Gitter zu übertragen, kamen zwei unterschiedliche Ansätze in Frage:



Abbildung 5: Zuschchnitt der gelieferten Daten.

1. Mit Hilfe der CPU

Beim ersten Ansatz werden die Daten direkt auf der CPU verarbeitet und in das reguläre Gitter integriert. Ein großer Nachteil dieses Ansatzes ist allerdings, dass bei jeder Aktualisierung der sogenannte *VertexBuffer*, mit dessen Hilfe die Geometriedaten an die GPU übertragen werden, komplett neu aufgebaut werden muss. Dieser Vorgang ist sehr kostenintensiv und würde die Echtzeitfähigkeit unserer Anwendung stark einschränken.

2. Mit Hilfe der GPU

Beim zweiten Ansatz kann dieser kostenintensive Neuaufbau des Vertexbuffers durch moderne Shader-basierte Verfahren umgangen werden. Dazu wird aus den Daten eine Textur (Heightmap s. Abbildung 6) erzeugt und anschließend mit den Geometriedaten des regulären Gitters zusammen an die GPU übertragen. Im Vertex-Shader kann jetzt mit Hilfe des *Vertex Texture Fetch* (VTF) Verfahrens direkt auf diese Textur und die enthaltenen Höhendaten zugegriffen und für die Manipulation der Y-Position der einzelnen Vertices genutzt werden.

Entschieden haben wir uns letztendlich für den zweiten Ansatz, da er das weitaus höhere Potenzial zur Echtzeitfähigkeit bietet, welche für unsere Anwendung eine sehr wichtige Rolle spielt und darüber hinaus auch ressourcensparender ist.

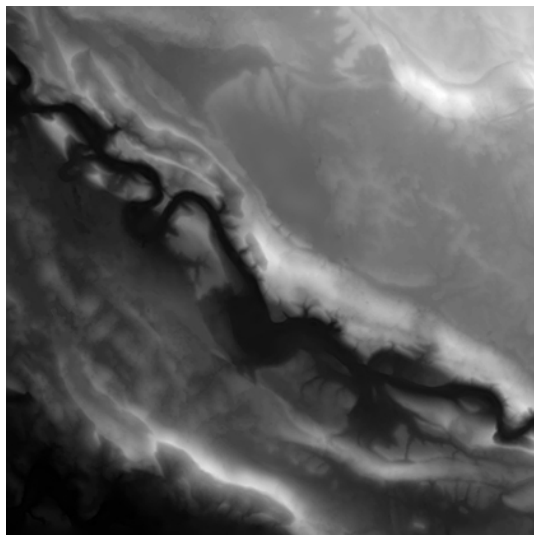


Abbildung 6: In einer Textur abgelegte Höhendaten (Heightmap).

4.6.3 Die Darstellung

Nachdem nun die Grundgeometrie erzeugt, die Höhendaten vorverarbeitet an die GPU übertragen und die Y-Position der Vertices manipuliert wurden, können wir nun unser Terrain endlich darstellen. Einheitlich eingefärbt, bekommen wir allerdings ein Ergebnis, das nicht wirklich an eine Landschaft erinnert (s. Abbildung 7).



Abbildung 7: Darstellung mit nur einer Farbe.

Dieses Erscheinungsbild lässt sich durch ein fehlendes Beleuchtungssystem und die dadurch fehlende Schattierung der Szene erklären. Da die Implementierung eines kompletten Beleuchtungssystems für unsere Anwendung allerdings wenig Sinn machen würde, lösen wir das oben gezeigte Darstellungsproblem mit Hilfe von verschiedenen Farben für die unterschiedlichen Höhenwerte. Die einfachste Umsetzung dafür wäre direkt die Farbwerte aus der Höhentextur zu nutzen, wodurch ein Graustufenverlauf von dunkel (niedrig) zu hell (hoch) entstehen würde (s. Abbildung 8a). Hierdurch erhalten wir zwar eine korrekte Darstellung unseres Terrains, jedoch sind Graustufen mehr als ungeeignet für die spätere Projektion auf den Sand. Aus diesem Grund haben wir eine Möglichkeit zur benutzerdefinierten Wahl des Farbverlaufs implementiert. Diese besteht aus vier frei wählbaren Farben für vier unterschiedliche Höhenbereiche, welche im Shader linear interpoliert werden (s. Abbildung 8b,c).

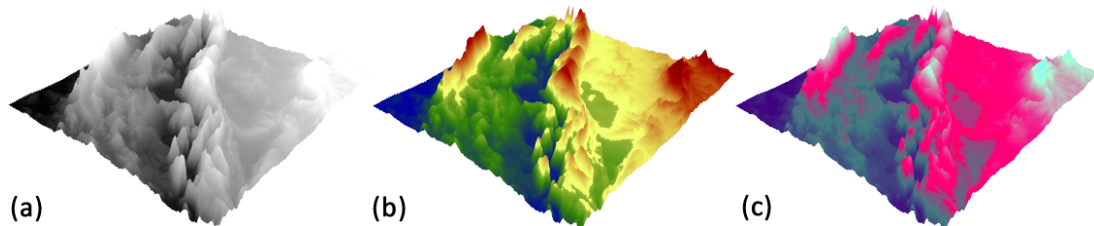


Abbildung 8: (a) Einfärbung anhand der Höhentextur. (b, c) Einfärbung anhand eines benutzerdefinierten Farbverlaufs.

Um die Höhenunterschiede bei der Projektion auf den Sand noch deutlicher erkennbar zu machen, haben wir am Ende des ersten Projektsemesters noch mit der Darstellung von Höhenlinien experimentiert und im Laufe des zweiten Projektsemesters letztendlich vollständig integriert. Die erste experimentelle Version (s. Abbildung 9a) arbeitete ausschließlich auf den reinen Höhendaten an einem einzelnen Punkt, weshalb an manchen Stellen noch sehr großflächige, schwarze Bereiche auftraten. Bei der endgültigen Version (s. Abbildung 9b) flossen schließlich noch zusätzliche Informationen aus den Nachbarbereichen mit in die Berechnung ein, um eine einheitliche Stärke der Höhenlinien zu gewährleisten und größere, schwarze Bereiche auszuschließen.

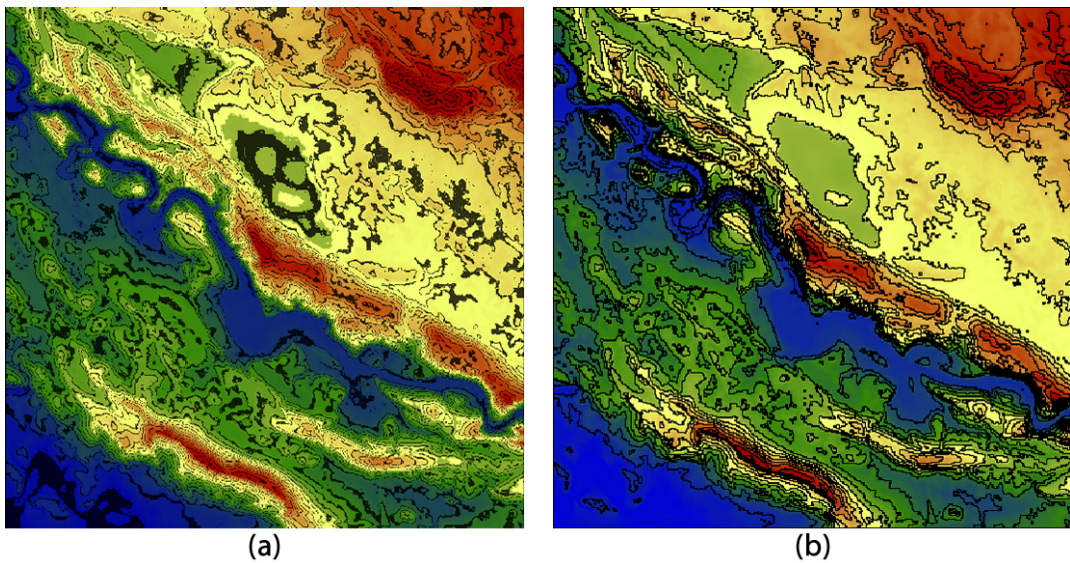


Abbildung 9: (a) 1. experimentelle und (b) endgültige Darstellung der Höhenlinien.

4.7 Das Kamerasystem

Um eine Navigation in unserer 3D Szene, sowie eine einfache Art der Kalibrierung zu ermöglichen, wurde ein kleines, erweiterbares Kamerasystem entwickelt. Das System besteht aus zwei Hauptkomponenten, der Kamera-Klasse und der Kamerakontroller-Klasse.

Kamera

Die Kamera-Klasse stellt alle Grundfunktionen einer virtuellen Kamera zur Verfügung. Dazu gehören neben der Translation und der Rotation auch unterschiedliche Arten der Projektion (Perspektivisch, Orthografisch) und verschiedene Kamera-Modi (Orbital, Walk, Fly) zur Navigation.

Um den sogenannten *Gimbal Lock* zu vermeiden, welcher bei der Verwendung von *Eulerwinkeln* zur Rotation entstehen kann und in speziellen Fällen den Verlust eines kompletten Freiheitsgrades bewirkt, setzten wir in unserem System auf den Einsatz von *Quaternionen* zur Rotation der Kamera. Diese bieten neben der Vermeidung des *Gimbal Locks* auch eine weitaus effizientere Berechnung der Transformationen.

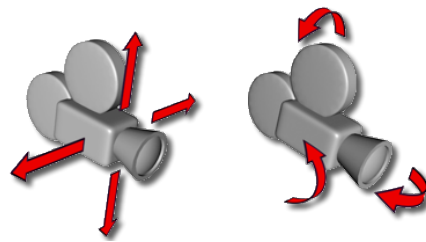


Abbildung 10: Grundfunktionen der Kamera.

Kamerakontroller

Die Kamerakontroller-Klasse dient als Schnittstelle zwischen der Peripherie und der eigentlichen Kamera und ermöglicht somit eine saubere Trennung zwischen der Verarbeitung von Benutzereingaben und der eigentlichen Funktionalität der Kamera. Abbildung 11 zeigt den groben Aufbau des Kamerasystems.



Abbildung 11: Aufbau des Kamerasystems.

4.8 Das Partikelsystem

Nachdem wir im ersten Projektsemester mit unserem CPU-basierten Partikelsystem sehr schnell an die Grenzen des machbaren gestoßen waren, haben wir uns im zweiten Projektsemester kurzfristig dafür entschieden, das System noch einmal komplett zu überarbeiten und dieses Mal auf eine reine GPU Implementierung zu setzen.

4.8.1 Die Anforderungen

4.8.2 Die Umsetzung

4.9 Die Physik

4.10 Die Benutzeroberfläche

Nachdem die Grundfunktionalität der Hauptkomponenten unseres Systems standen ging es nun daran eine einfache aber dennoch funktionale Benutzeroberfläche zu entwerfen. Da das *XNA-Framework* von Haus aus auf *Windows-Forms* zur Darstellung von Benutzeroberflächen setzt, beschlossen auch wir vorerst diese Variante zu nutzen. Hielten uns aber die Möglichkeit offen eventuell später auf das etwas modernere *WPF*-System zu wechseln.

Hauptanforderungen waren ein übersichtliches Design und ein einfaches Hinzufügen von neuen Funktionalitäten. Um diese Anforderungen zu erfüllen entschieden wir uns für eine schlichte Statusleiste am unteren Rand des Editor-Fensters für einfache Anzeigen wie zum Beispiel die Frames Pro Sekunde(FPS) oder die Anzahl der Partikel und ein Tab-Panel an der rechten Seite des Editor-Fensters zur Konfiguration der einzelnen Komponenten. Durch die Nutzung des Tab-Panel lässt sich eine gute Separierung der einzelnen Komponenten in der Benutzeroberfläche realisieren.

Die Kommunikation zwischen der Benutzeroberfläche und den einzelnen Komponenten ist über das im *.Net-Framework* integrierte Event-System realisiert. Bei einer Interaktion mit der Benutzeroberfläche wird ein entsprechendes Event gefeuert, welches anschließend die benötigten Daten an alle Komponenten liefert, die sich zuvor für dieses Event registriert haben.

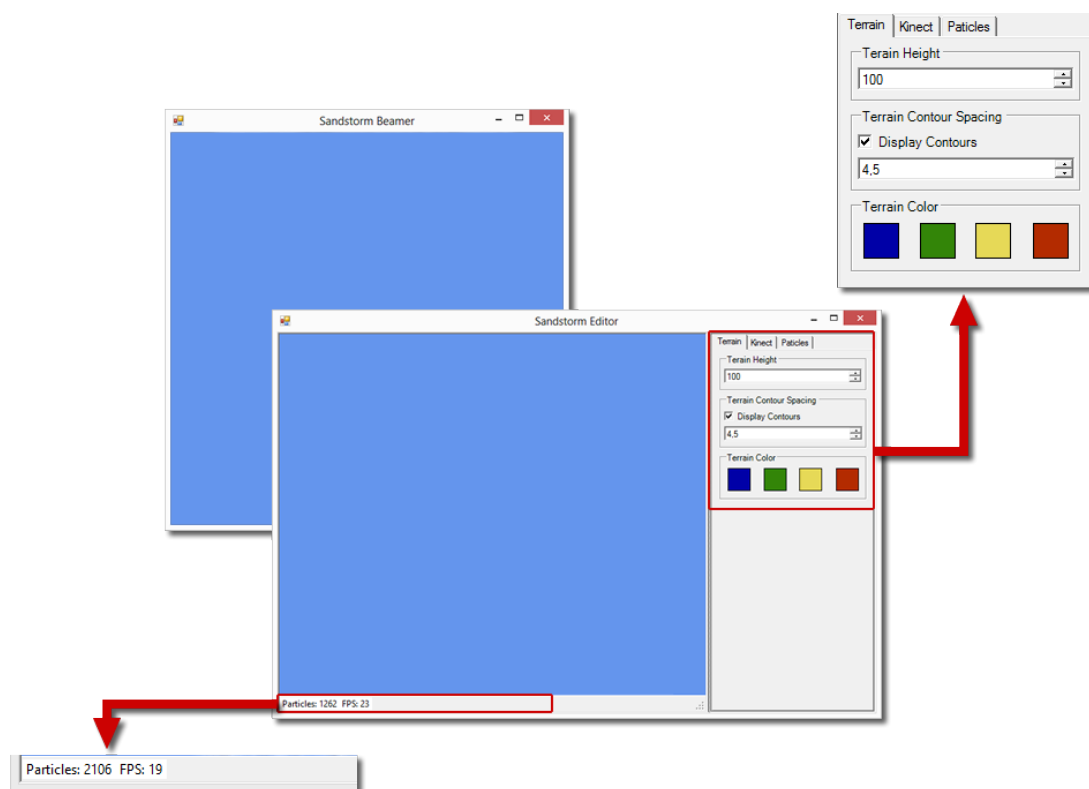


Abbildung 12: Die GUI

4.11 Reflection

Im Laufe der Zeit wurde unser Projekt immer größer, dies brachte auch viele neue Funktionalitäten mit sich. All diese neuen Features mussten wir stetig unserer GUI-Oberfläche hinzufügen. Dieser sehr statische Ansatz wurde deshalb durch Reflektion in einen dynamischen überführt. Diverse moderne Programmiersprachen so auch unser verwendetes C-Sharp besitzen die Möglichkeit während des Programmablaufs Informationen über die Struktur eines gegebenen Objekts abzurufen.

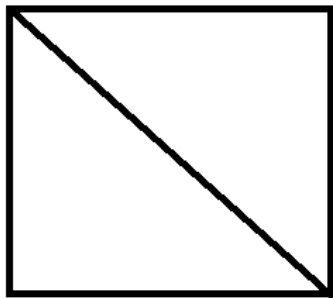


Abbildung 13: Reflection

Dieser Ansatz und die Tatsache das wir diverse Probleme mit unserer statischen Multi-Window GUI hatten, haben uns dazu bewegt unser GUI-System auf ein Reflection basiertes dynamisch erzeugtes Single-Window GUI-System umzusteigen.

5 Ergebnisse

hier schreiben wir unsere erfahrungen rein und was wir genau hinbekommen haben. zudem sollen probleme die während der arbeit aufgetreten sind erwähnt / erläutert werden.

6 Probleme

6.1 Echtzeitfähigkeit

Leider besitzt die derzeitige Ausarbeitung diverse kleinere Probleme, welche die Echtzeitfähigkeit des Systems gefährden. Diverse teile von Berechnungen werden noch wie in ?? beschrieben auf der CPU ausgeführt, während der Teil der Visualisierung bereits auf die GPU portiert wurde. Dies führt zu erheblichen Performanceproblemen, denn es muss bei jeder Physikberechnung (jeden Frame), die Partikeldaten zwischen GPU und CPU kopiert und synchronisiert werden.

6.2 Darstellung

Die Darstellung stellte sich im Laufe des Projektes als schwieriger heraus als vorher angedacht. Hierbei kann man die Probleme auf welche wir gestoßen sind grob in Hard- und Softwareprobleme unterscheiden.

6.2.1 Hardware

Trotz das wir einen Beamer von einem Grafiklabor der Hochschule zur Verfügung gestellt bekommen haben, bemerkten wir bereits bei ersten Tests, das ein großer Farbunterschied zwischen Beamer und Monitor vorhanden ist. Leider scheint das Spektrum unseres Beamers sehr begrenzt zu sein, so das wir einen Farbunterschied zwischen weiß und gelb kaum wahrnehmen können.

6.2.2 Software

Durch die physikalische Gegebenheit das Kinect und Beamer sich an unterschiedlichen Orten befinden, entsteht bei der Projektion zusätzlich zur Verzerrung auch noch das Problem der Verschiebung. Die Kalibrierung stellte sich somit schwieriger heraus als bisher gedacht, deshalb wurden aus zeitlichen Gründen der Fokus auf Aufgaben gesetzt um schnellstmöglich eine lauffähige Version zu erstellen.

7 Fazit & Ausblick

Trotz das auf uns allerlei Probleme zukamen, entstand im Laufe eines Semesters eine Echtzeit Sandkastensimulation, die bereits grundlegende Funktionalität bietet. Im Laufe des nächsten Semesters werden wir dann Aufgaben, welche in diesem Semester ein wenig vernachlässigt wurden wie z. B. die Kalibrierung nachbessern. Des Weiteren werden wir die bisherigen Physikberechnungen auf die GPU portieren um so hoffentlich wieder die Echtzeitfähigkeit des Systems zu erlangen. Auch neue Funktionalitäten sind geplant, welche notwendig sind um unser eigentliches ?? zu erreichen.