

3D-Graphik

Jörg Cassens

Institut für Mathematik und Angewandte Informatik

Medieninformatik
WS 2018/2019



medieninformatik

IMA – Institut für
Mathematik und
Angewandte Informatik

Pingo

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



 pingo.upb.de/564768

Einleitung

- Dreidimensionale Computergraphik ist ein Medium, dessen Bedeutung besonders in den letzten zwei Jahrzehnten zugenommen hat
 - Animationsfilme orientiert sowohl an klassischen Animationsfilmen wie auch am traditionellen Film
 - Völlig neue Bildsprache, da der 3D-Animationsfilm einerseits nicht an die Gesetze der Physik gebunden ist und andererseits die Grenzen des traditionellen Animationsfilms in Hinblick auf den Realismus überschreiten kann
 - Weiterhin treibende Kraft in der Spieleindustrie, die inzwischen das Umsatzvolumen der Filmindustrie übertrifft
 - Heutige Konsolen und PCs bieten eine Graphikleistung, die früher nur teuren Spezialrechnern vorbehalten war
 - Spiele werden immer realistischer und immer immersiver
- 3D-Graphik erfährt eine enorme technische Entwicklung und speist ein eigenes Forschungsgebiet
- Schnelle Innovationszyklen

- Kleiner und überschaubarer mathematischer Kern etablierter Verfahren
- Grundlegende Konzepte der 3D-Graphik
- Darstellung einer Verarbeitungskette
- Schritte zur Darstellung am Bildschirm
- Grundlegende 3D-Animationsverfahren
- Offene und verbreitete Codierungen für 3D-Graphiken

- Unsere Lebenswelt, wie wir sie wahrnehmen, hat 3 räumliche und eine zeitliche Dimension
- Die zeitliche Komponente haben wir uns im Bereich Video angesehen
- 3D-Darstellung in der Ausgabe heute noch nur beschränkt machbar
 - CNC-Maschinen
 - 3D-Drucker
 - (Pseudo-) Holographische Displays
- Ansonsten behelfen wir uns mit Tricks
 - Stereoskopische oder Auto-stereoskopische Wiedergabe
 - Das sind aber im wesentlichen zwei 2D-Bilder, die in einem speziellen Zusammenhang stehen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Grundlagen

Grundlegende Elemente und Funktionen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Zur Darstellung von 2D-Ausgaben müssen ursprünglich in 3D berechnete Darstellungen auf 2D projiziert werden
- Dazu benutzen wir eine virtuelle Kamera
- Reale Kamera hat perspektivische Projektion, virtuell sind andere Projektionen möglich
- Zur Darstellung der Objekte sind noch Oberflächeneigenschaften und Lichtquellen wichtig
- Wir haben also: 3D-Modelle, Ihre Oberflächen, Lichtquellen, Kamera
- Für eine animierte Darstellung können diese Elemente beweglich oder veränderlich sein
- Ein standardisierter Verarbeitungsprozeß, die 3D Rendering Pipeline, hat sich etabliert und wird weitgehend in Hardware unterstützt

Koordinatensysteme

- Analog zu 2D: kartesisches Koordinatensystem mit linear gleich aufgeteilten Achsen
- Zwei Konventionen; rechtshändiges Koordinatensystem (häufiger) oder linkshändiges

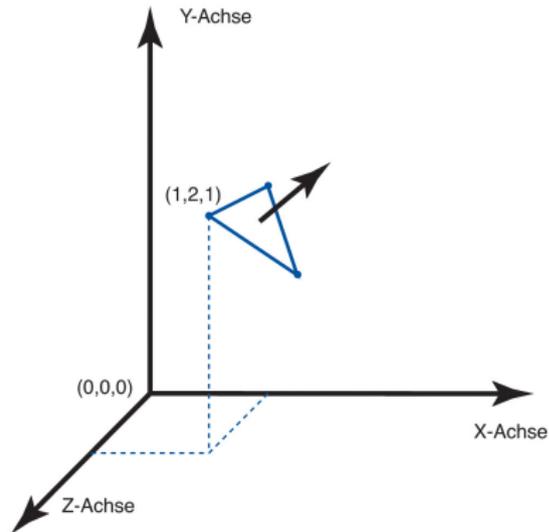


Abbildung 8.1: Rechtshändiges dreidimensionales Koordinatensystem, darin eingezeichnet ein Polygon aus drei Punkten mit seiner Flächennormalen

Translation als Addition

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{alt} + t_x \\ y_{alt} + t_y \\ z_{alt} + t_z \end{pmatrix}$$

Skalierung

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & s_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x x_{alt} \\ s_y y_{alt} \\ s_z z_{alt} \end{pmatrix}$$

Rotation als Kombination von 3 elementaren Rotationen

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{alt} \\ \cos \alpha y_{alt} - \sin \alpha z_{alt} \\ \sin \alpha y_{alt} + \cos \alpha z_{alt} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta x_{alt} + \sin \beta z_{alt} \\ y_{alt} \\ \cos \beta z_{alt} - \sin \beta x_{alt} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma x_{alt} - \sin \gamma y_{alt} \\ \sin \gamma x_{alt} + \cos \gamma y_{alt} \\ z_{alt} \end{pmatrix}$$

Lineare Transformationen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Spiegelung ist eine Skalierung um den Faktor -1 entlang einer Achse
- Überführt gleichzeitig ein rechtshändiges in ein linkshändiges Koordinatensystem
- Dabei werden auch alle Normalenvektoren umgekehrt
- Rotation oder Skalierung um andere Punkte als den Mittelpunkt wieder über vorhergehende und nachfolgende Translationen
- Ausdruck als Matrixmultiplikationen führt dazu, daß eine Kette von Manipulationen in einer einzigen Transformationsmatrix kombinierbar ist
- Analog zum 2D-Fall wechseln wir für die Translation in das homogene Koordinatensystem mit hinzugefügter 4. Dimension

Homogenes Koordinatensystem

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & 0 \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & 0 \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Translation als Multiplikation

$$\begin{pmatrix} x_{neu} \\ y_{neu} \\ z_{neu} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{alt} \\ y_{alt} \\ z_{alt} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{alt} + t_x \\ y_{alt} + t_y \\ z_{alt} + t_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Video 10.1: The True Power of the Matrix

Grundlagen

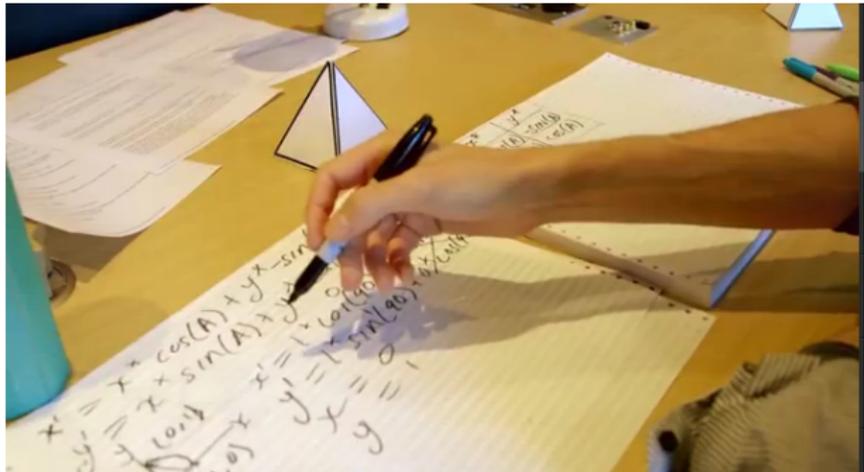
Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



👉 The True Power of the Matrix (Transformations in Graphics) –
Computerphile

14:46

Geschwindigkeitsgewinn

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Mittels homogener Koordinaten können viele Transformationen zu einer zusammengesetzt werden, die dann auf viele Punkte und Polygone angewandt wird
- Wie hoch ist dadurch der Geschwindigkeitsgewinn?
- Beispiel: Kombination von nur 5 Transformationen $A * (B * (C * (D * (E * x))))$ bzw. $(A * B * C * D * E) * x$
- Die einzelnen Multiplikationen mit 5 dreidimensionalen Matrizen benötigt $5 * 3 * 3 = 45$ Multiplikationen
- Die Multiplikation mit einer homogenen Matrix benötigt $4 * 4 = 16$ Multiplikationen und $4 * 3 = 12$ Additionen
- Einfache Optimierung (Nullen ignorieren): $3 * 4 = 12$ Multiplikationen und $3 * 3 = 9$ Additionen
- Berücksichtigt man, daß sehr komplexe Verarbeitungsketten auftauchen können und diese auf viele Polygone angewandt werden, wird der Vorteil klar

Punkte, Geraden, Polygone, Polygonnetze

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Analog zu 2D werden aus Punkten und Geraden Polygone zusammengesetzt
- Für effiziente Berechnung von Beleuchtungsmodellen ist es wichtig, daß diese planar sind, d.h. daß alle Punkte in der gleichen Ebene liegen und die Flächennormale an jeder Stelle gleich ist
- Dreiecke erfüllen dies trivialerweise, für Polygone mit mehr Seiten Überprüfung aufwendig
- Jedes beliebige planare Polygon kann aber in Dreiecke aufgeteilt werden (Triangulation)
- Daher haben sich dreieckige Polynome als elementares Flächenstück durchgesetzt
- Im Beispiel des Koordinatensystems haben wir ein solches Dreieck mit der **Flächennormalen** bereits gesehen

■ Dreieck mit Flächennormalen

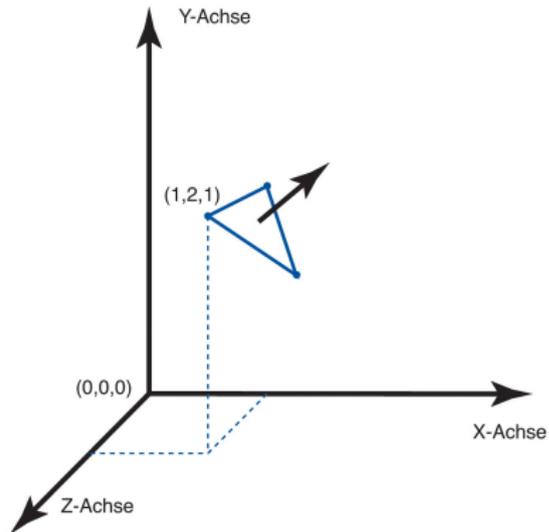


Abbildung 8.1: Rechtshändiges dreidimensionales Koordinatensystem, darin eingezeichnet ein Polygon aus drei Punkten mit seiner Flächennormalen

- Diese Polygone können zu einem **Polygonnetz** (Polygon Mesh) zusammengesetzt
- Da sich benachbarte Dreiecke immer zwei Eckpunkte teilen läßt sich eine effektive Repräsentation finden
- Durchnummerierte Liste von Eckpunkte wird gespeichert
- Dann Liste von Dreiecken speichern, die auf diese Indizes Bezug nimmt
- Diese Datenstruktur heißt **Indexed Face Set**
- Darüber hinaus gibt es noch weitere, stark optimierte Darstellungen, auf die wir hier nicht eingehen

Video 10.2: A Universe of Triangles

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



📺 A Universe of Triangles – Computerphile

11:24

Geometrische Primitive, CSG

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Neben Polygonmodellen bieten 3D-Graphikprogramme (bzw. Bibliotheken) häufig die Möglichkeit, geometrische Primitive zu erzeugen
 - z.B. Quader, Zylinder, Kugel, Ring
- Aus diesen können durch boolesche Verknüpfung der Raumvolumen neue Formen erzeugt werden
- Diese Art der Konstruktion von Primitiven heißt **Constructive Solid Geometry**
- Die erzeugten Körper werden oft als **boolesche Körper** bezeichnet

Beispiel CSG

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



Abbildung 8.2: Boolesche Verknüpfung eines Quaders mit einem Zylinder

- Weitere Möglichkeit: **Extrusions-** und **Rotationskörper**
- Extrusion: Eine gegebene Grundfläche wird entlang eines beliebigen Pfades (bspw. einer Geraden) immer wiederholt
 - Aus einem Kreis entsteht ein Zylinder
- Rotation: Bei einem Rotationskörper ist dieser Pfad ein geschlossener Kreis
 - Aus einem Kreis entsteht ein Ring
- Konstruktion von Gegenständen wie Vasen oder Flasche sehr effizient

Beispiel Extrusions- und Rotationskörper

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

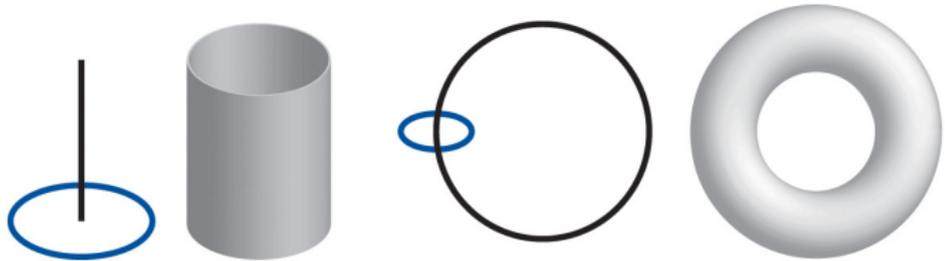


Abbildung 8.3: Extrusionskörper und Rotationskörper, jeweils mit zugehöriger Grundform (blau) und Pfad (schwarz), aus denen sie erstellt wurden

- Im 2D-Bereich haben wir für die Beschreibung beliebiger Umrisse die Interpolationskurven, insbesondere die Bézier-Kurven kennengelernt
- Aus solchen Kurven lassen sich auch Netze, sogenannte Freiformflächen, zusammensetzen
- Häufig verwendet: Zusammensetzung größerer Flächen aus Bézier-Patches
- Ein bikubischer Bézier-Patch besteht aus 4+4 kubischen Bézier-Kurven, die damit eine Fläche von 3x3 Feldern aufspannen
- Kurven teilen sich jeweils gemeinsame Kontrollpunkte, so daß die Form mit 16 Kontrollpunkten festgelegt wird

Beispiel Bézier Patch

Grundlagen

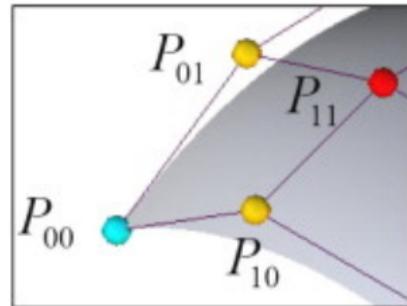
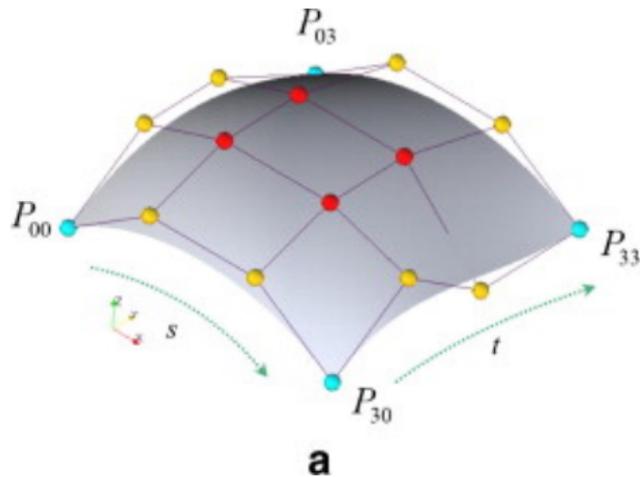
Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



Quelle: Czarny & Huysmans, 2008

Eigenschaften Bézier Patch

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

■ Vorteile

- Die beschriebene Oberfläche liegt innerhalb der konvexen Hülle aller Stützpunkte
- Sie ist in jedem Punkt stetig
- Die Eckpunkte des Netzes entsprechen den 4 Stützpunkten an den Ecken
- Sehr kompakte Beschreibung durch 16 Stützpunkte
- Transformationen im Raum entsprechen Transformationen der Stützpunkte

■ Nachteile

- Berechnung des Schnittpunktes mit einer Geraden schwierig (Problem für Raytracing)
 - Flächennormale ändert sich über die Fläche
- Lösung: Annäherung von Freiformflächen durch planare Polygone (Tesselation)

Approximation Bézier Patch

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

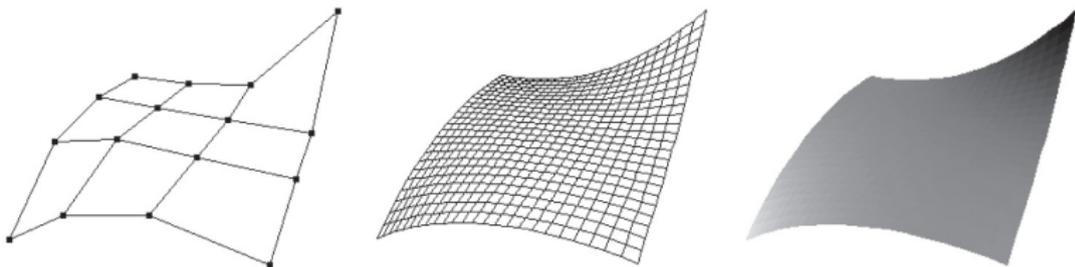


Abbildung 8.4: Bikubischer Bézier-Patch: die 16 Kontrollpunkten (links), Annäherung durch Polygone (Mitte) und schattierte Darstellung (rechts)

Andere Arten

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Bisher beschriebene Verfahren gingen davon aus, daß die dargestellten Objekte letztlich durch eine aus Polygonen zusammengesetzte Oberfläche repräsentiert werden
- Daneben gibt es weitere, hier nicht vertiefte Ansätze
- Alter Ansatz: Aufteilung des 3D-Raums in Voxel analog zu Pixeln, für die jeweils die optischen Eigenschaften beschrieben werden
- Verwendete Rendering-Funktionen damit grundlegend anders
- Beispiel für Voxel-Verfahren sind medizinische bildgebende Verfahren wie CT
- Neuere Entwicklung: punktbasierte 3D-Graphik
- Diese werden z.B. von Stereokameras oder Laserscanner erzeugt

Grundlagen

**Rendering
Pipeline**

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Rendering Pipeline

- Die 3D Rendering Pipeline beschreibt eine Abfolge von Schritten, die aus
 - einem 3D Modell,
 - seinen Oberflächenbeschreibungen,
 - der Beleuchtung und
 - einer Kameraein zweidimensionales Bild zur Darstellung z.B. auf einem Bildschirm machen
- Nicht alle Schritte in der Reihenfolge unbedingt festgelegt, Unterschiede in Implementierung
- Rendering-Pipeline ist heute typischerweise (zumindest teilweise) in Hardware implementiert
- Hier: generische Variante

Rendering Pipeline (contd.)

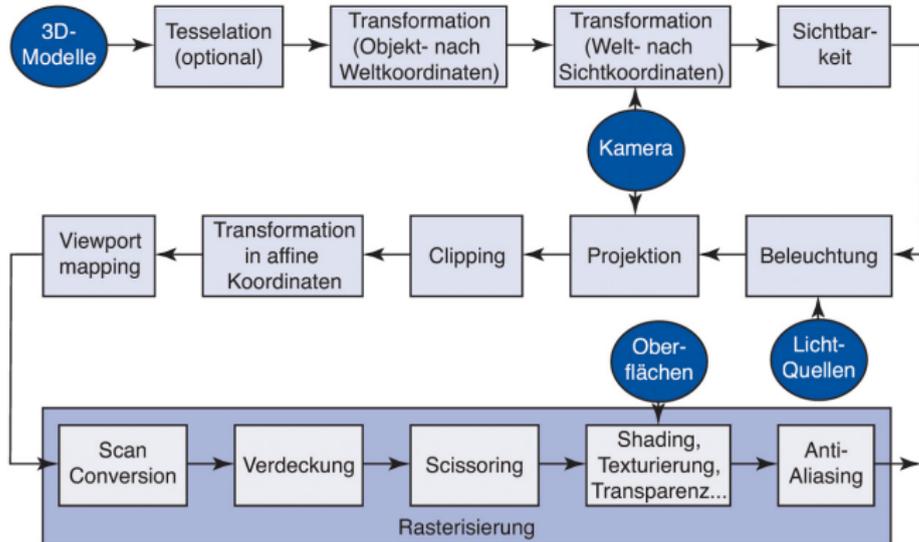


Abbildung 8.5: Die 3D Rendering Pipeline: der Weg vom 3D-Modell zum Bild unter Verwendung der Kamera, Lichtquellen und Oberflächenbeschreibungen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Tessellation

- Tesella (lat.) kleines, meist rechteckiges Mosaiksteinchen
- Aus diesen Steinchen mit ebener Oberfläche lassen sich auch gekrümmte Flächen annähern
- In der CG werden gekrümmte Flächen bei der Tesselation in so kleine Polygone aufgeteilt daß sie dem Betrachter noch hinreichend gekrümmt erscheinen
- Sind die Polygone Dreiecke spricht man auch von Triangulation

Utah Teapot

- Newells Teekanne (Utah Teapot) mit verschiedenen Tessellationen gerendert (sunflow.sf.net)
- Neun teilweise gespiegelte Beziér-Patches



Abbildung 8.6

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

■ Das Original von Friesland Porzellan



Friesland-Porzellan

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Szenegraph

- Bisher beschriebene Objekte werden in Objektkoordinaten modelliert
- Würfel/Kugel Mittelpunkt immer im Ursprung des lokalen Koordinatensystems
- Nachdem alle Objekte beschrieben und ggf. tesseliert sind kommt die Transformation an die jeweiligen Positionen im Raum
- Dazu werden die Objekte in einem DAG (dem Szenegraph) organisiert
- Blätter geometrische Modelle samt Erscheinungen (Oberflächenbeschreibungen)
- Innere Knoten Transformationen oder Gruppierungen
- Im einfachsten Fall wieder ein Baum

Beispiel Szenegraph

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

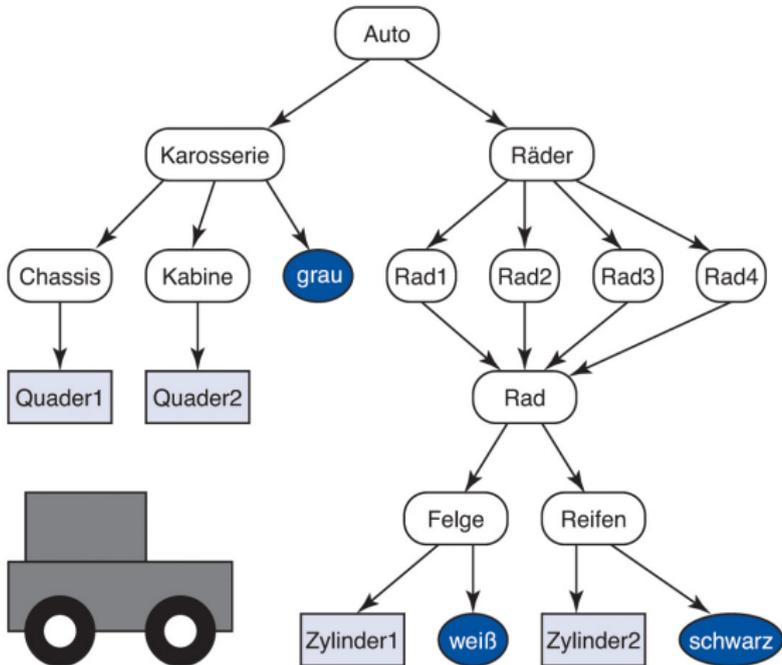


Abbildung 8.7: Szenegraph für ein Auto mit vier Rädern, in dem Geometrien, Oberflächen und ganze Baugruppen mehrfach verwendet werden

Szenegraph (contd.)

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tesselation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Organisation im Graphen ermöglicht auch, komplexere Animationen logisch einfach zu beschreiben
- Transformation eines einzelnen Objektes bestimmt, indem alle Transformation von der Wurzel bis zum Blatt aufmultipliziert werden
- Angenommen, das modellierte Auto bewegt sich mit drehenden Rädern entlang eines geraden Weges
- Alle Bestandteile bewegen sich dann linear, die Räder drehen sich zusätzlich (Rotation)
- Es reicht dann, für “Rad” eine wiederholte Rotation um 360 Grad in einer festen Zeiteinheit zu beschreiben und diese dort in den Szenegraphen als Transformation einzubauen
- Durch die Verwendung der gleichen Baugruppe drehen sich dann alle Räder

Objekt- und Weltkoordinaten

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Scenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

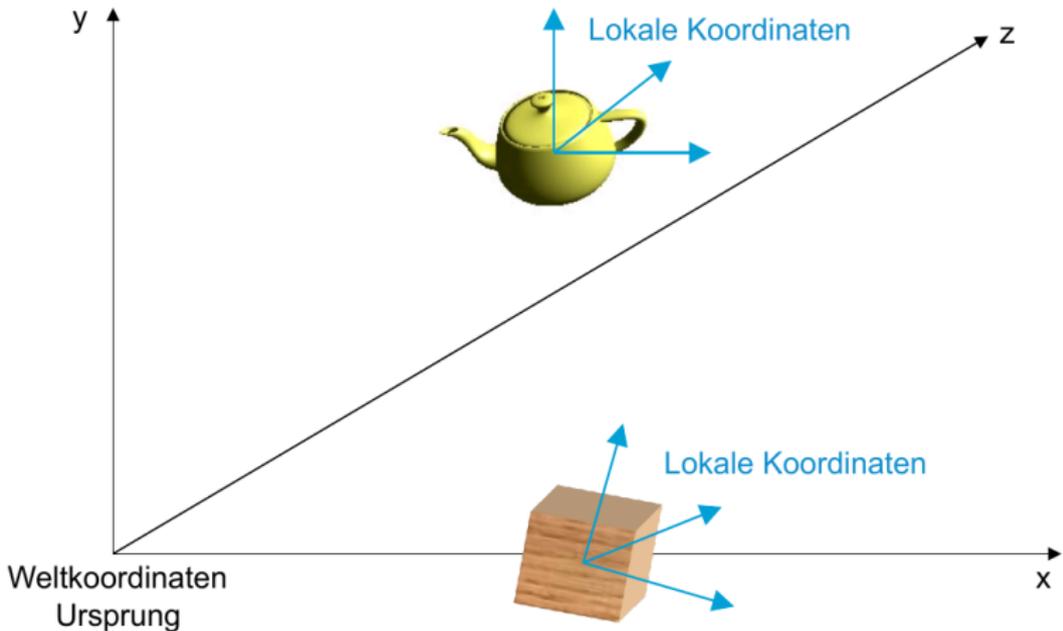
Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Weltkoordinaten



Quelle: Stefan Schlechtweg

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Kameramodell

Kameramodell

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Bisher komplett in Weltkoordinaten (globales Koordinatensystem der 3D-Szene)
- Zur Abbildung auf 2D-Bildebene benötigen wir eine Projektion
- Dazu dient die Kamera
- Weitere Koordinatensysteme
 - Sichtkoordinaten (auch Kamerakoordinaten): Interne Koordinatensysteme der Kamera
 - Bildkoordinaten (auch Projektionskoordinaten): Koordinatensystem zur Darstellung der perspektivischen Projektion
 - Zumeist (aber nicht immer) perspektivische Projektion
- Weitere Annahmen im folgenden:
 - Zentrum der Projektion im Ursprung, Bildebene bei $Z = 1$
 - Kamera blickt entlang der negativen Z-Achse

Kamerakoordinaten

Grundlagen

Rendering
Pipeline

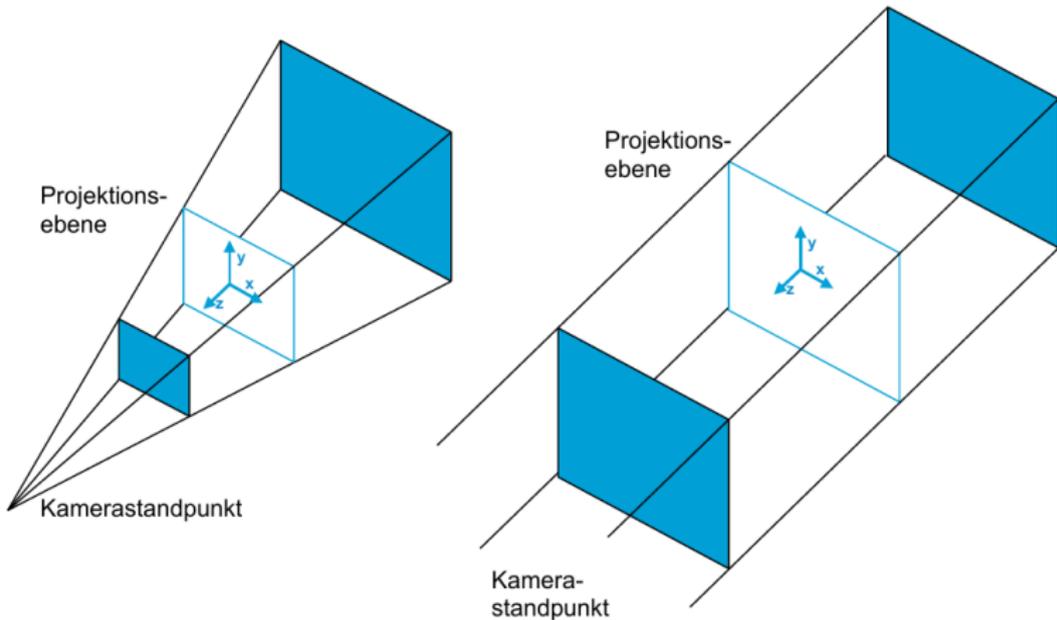
Tessellation
Szenegraph
Kameramodell
Sichtbarkeit
Licht
Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



Quelle: Stefan Schlechtweg

Kameramodell (contd.)

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Weltkoordinaten in Sichtkoordinaten (gut für Berechnung von Verdeckung und Sichtbarkeit, da Position der Punkte entlang der Z-Achse erhalten bleibt)

$$\begin{pmatrix} x_{sicht} \\ y_{sicht} \\ z_{sicht} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ -z \end{pmatrix}$$

Sichtkoordinaten in Bildkoordinaten (perspektivische Division, in der weiter entfernte Objekte kleiner werden)

$$\begin{pmatrix} x_{bild} \\ y_{bild} \\ z_{bild} \\ w_{bild} \end{pmatrix} = \frac{1}{w_{sicht}} \begin{pmatrix} x_{sicht} \\ y_{sicht} \\ z_{sicht} \\ w_{sicht} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{sicht}/w_{sicht} \\ y_{sicht}/w_{sicht} \\ z_{sicht}/w_{sicht} \\ w_{sicht}/w_{sicht} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x/-z \\ y/-z \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Beispiel Kameramodell

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation
Szenegraph
Kameramodell

Sichtbarkeit
Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

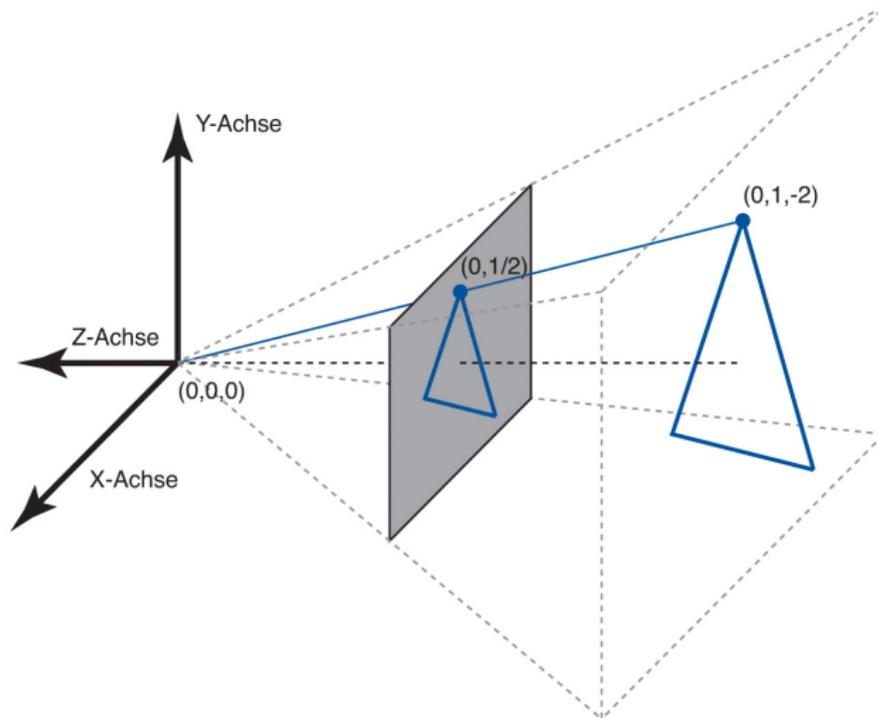


Abbildung 8.8: Perspektivische Projektion in der Kamera. Im Beispiel sind die Weltkoordinaten $(0, 1, -2)$ und damit ergeben sich die Bildkoordinaten $(0, 1/2)$.

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Sichtbarkeit

Sichtbarkeitsbestimmung (Culling)

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Wenn alle Koordinaten in Sichtkoordinaten transformiert sind lassen sich (erhebliche) Optimierungen durchführen (Reduktion der Menge der später zu beachtenden Polygone)
- Grundsatz: Polygone von der Betrachtung ausschließen, die nicht im Bild sichtbar werden
- Zunächst alle, die außerhalb des Pyramidenstumpfes sind, der von durch die 4 Bildränder und einer festgelegten vorderen und hinteren Schnittebene (far and near clipping plane) gebildet wird
- Dieser Stumpf wird als Sichtvolumen (view volume, view frustum) bezeichnet

Beispiel Sichtvolumen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Scenegrph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

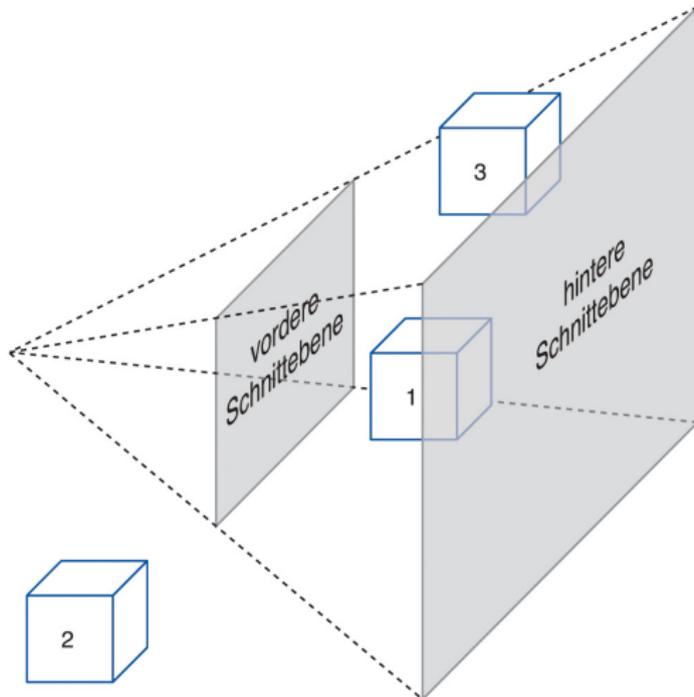


Abbildung 8.9: Sichtvolumen der Kamera mit vorderer und hinterer Schnittebene. Objekt 1 liegt vollständig innerhalb des Sichtvolumens, Objekt 2 vollständig außerhalb und Objekt 3 schneidet das Sichtvolumen.

■ View Frustum Culling

- Jedes Objekt durch umschreibenden Quader (Bounding Box in 3D) annähern und mit 4 Vergleichen ermitteln, ob der Quader komplett innerhalb/außerhalb des Sichtvolumens liegt
- Vollständig enthaltene werden später berücksichtigt
- Vollständig außerhalb liegende können ignoriert werden
- Für schneidende Objekte ggf. für Unterobjekte im Scenegraphen Test wiederholen, im Zweifelsfall berücksichtigen

■ Back Face Culling

- (Einseitige) Polygone, deren Normalenvektoren von der Kamera weg zeigen, aus der Pipeline entfernen
- Grundidee: Bei geschlossenem Polygonnetz (ohne Löcher) können solche Polygone nur auf der Rückseite von Objekten vorkommen, sie sind somit durch anderen Polygone verdeckt

Video 10.3: Triangles to Pixels

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



🖱️ Triangles to Pixels – Computerphile

8:17

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Licht

Lichtquellen: Ambient

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Wir arbeiten mit verschiedenen Vereinfachungen im Vergleich mit natürlichem Licht
- Am einfachsten zu berechnende Vereinfachung ist das ambiente Licht
- In der Natur werden stets Lichtanteile von Objekten, dem Boden oder Wolken diffus reflektiert, daher ist überall etwas Licht
- Vereinfachende Modellierung, indem im Modell überall Licht von gegebener Helligkeit ohne Richtung vorhanden, die den Polygonen eine Grundhelligkeit verleiht

Lichtquellen: Gerichtet

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Auch das gerichtete Licht wird vereinfacht modelliert
 - einerseits nimmt die Intensität quadratisch mit dem Abstand ab
 - andererseits ist die natürliche Hauptquelle Sonne so weit entfernt, daß die quadratische Abnahme praktisch nicht mehr wahrnehmbar ist
- Sonnenlicht wird daher allein durch Richtung und Helligkeit angenähert und erzeugt überall in der Szene gerichtetes Licht gleicher Intensität, das keine oder harte Schatten wirft
- Mit diesem “Sonnenlicht” und dem ambienten Licht können bei akzeptablem Rechenaufwand bereits akzeptable Beleuchtungssituationen geschaffen werden
- “Sonnenlicht” etwas wärmer, ambientes Licht etwas blauer (sonnige Tage) oder weißer (bedeckte Tage)

- Lokale Lichtquellen wie Kerzen, Glühbirnen als Punktlichter
 - Beschrieben durch Position und Lichtfarbe/Intensität
 - Gleichmäßig in alle Richtungen strahlend, Intensität mit dem Quadrat der Entfernung abnehmend
 - Statt rein quadratischer Abnahme oft linearer Anteil
 - Zur Darstellung benutzte Monitore haben geringen Kontrastumfang, das “falsche”, etwas kontrastarme Licht wird als natürlich angesehen
- Beschränkung des Abstrahlwinkels mit einem Kegel führt zu Spotlicht
- Die Nähe zum Rand des Lichtkegels beeinflusst die Intensität (Falloff)
 - Falloff kann hart oder weich sein, und näher oder entfernter von der Mitte des Kegels beginnen
- Sowohl Punkt wie Spotlight werfen harte Schatten

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Gerichtet – Punkt – Spot



Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Am aufwendigsten: Weich umrandete Schatten mit einer Flächenlichtquelle
- Wie 3D-Objekte durch Geometrie modelliert, die von jedem Punkt Licht aussenden
- Annäherung über verteilte Punktlichtquellen
- Aufwendig, aber beste Ergebnisse mit weich umrandeten Schatten

Lichtquellen (contd)

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und

Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Letzter Einflußfaktor ist die Oberflächenbeschreibung der Objekte
- Erzeugung guter Texturen, prozeduraler Shader und deren Parametrisierung sehr aufwendig
- Grundsätzlich: Beschreibung des ambienten, diffusen und spekularen (spiegelnden) Anteils des reflektierten Lichts

Lichtreflexion an Objekten

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

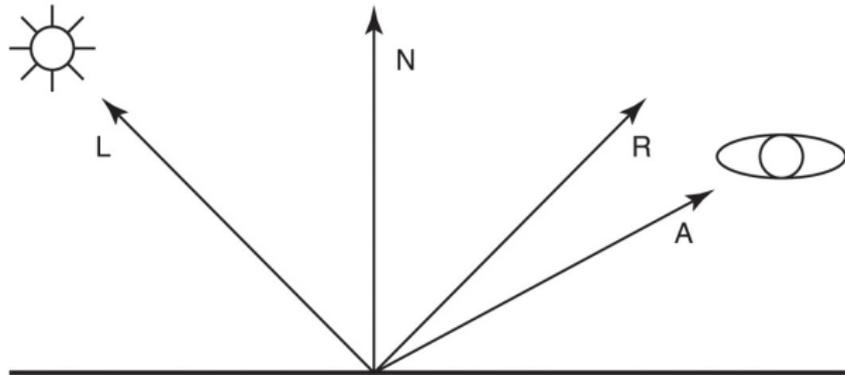


Abbildung 8.12: Vektoren zur Berechnung des Beleuchtungsmodells nach Phong: L zeigt zur Lichtquelle, N ist die Flächennormale, R der reflektierte Lichtstrahl und A zeigt zum Auge.

- Für ambiente Reflexion wird ein Koeffizient angegeben, der beschreibt, welcher Anteil des ambienten Lichts mit welcher Intensität gleichmäßig reflektiert wird und in den Gesamteindruck eingeht

$$I_a = k_a I_{al}$$

- mit I_a als reflektiertem Licht, k_a Reflexionskoeffizient für ambientes Licht, I_{al} Intensität des ambienten Lichts
- Kann eingesetzt werden, um völlig schwarze Schatten zu vermeiden

Diffuse Reflexion

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation
Szenegraph
Kameramodell
Sichtbarkeit
Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Vollständig matter Körper weist bei einer bestimmten Beleuchtung die gleiche Farbe und Helligkeit auf, egal, von wo man ihn betrachtet
- Diese Art heißt diffuse oder Lambertsche Reflexion

$$I_d = k_d I_L \langle L, N \rangle$$

- mit I_d als reflektiertem Licht, k_d Reflexionskoeffizient für diffuse Beleuchtung, I_L Intensität der betrachteten Lichtquelle und $\langle L, N \rangle$ Skalarprodukt zwischen Flächennormale und Winkel zur Lichtquelle
- Die diffuse Reflexion nimmt mit dem Cosinus des Winkels des Auftreffens des Licht auf das Objekt ab

Glanzreflexion

- Die spekulare oder Glanzreflexion folgt einem ähnlichen Gesetz
- Ein perfekter Spiegel reflektiert mit Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Die meisten Flächen sind keine perfekten Spiegel
- Reflexion am stärksten bei Einfallswinkel = Ausfallswinkel, aber die Intensität läuft danach nicht gleich auf 0 zurück, sondern sinkt langsam

$$I_s = k_s I_L \langle R, N \rangle^n$$

- mit I_s als reflektiertem Licht, k_s Reflexionskoeffizient für spekulare Beleuchtung, I_L Intensität der betrachteten Lichtquelle und $\langle R, N \rangle$ Skalarprodukt zwischen Flächennormale und Reflexionswinkel
- Hierbei ergibt ein kleiner Wert für n einen weichen Lichtabfall, ein großer Wert scharfe Glanzpunkte

Beleuchtungsmodell von Phong

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Das Beleuchtungsmodell von Phong setzt sich damit aus diesen drei Komponenten zusammen

$$I = I_a + I_d + I_s$$

$$I = k_a I_a + k_d I_L \langle L, N \rangle + k_s I_L \langle R, N \rangle^n$$

- Vereinfachende Darstellung mit Grauwerten statt Farbwerten
- Einfache Erweiterung: Arbeit in drei Kanälen (R, G, B)

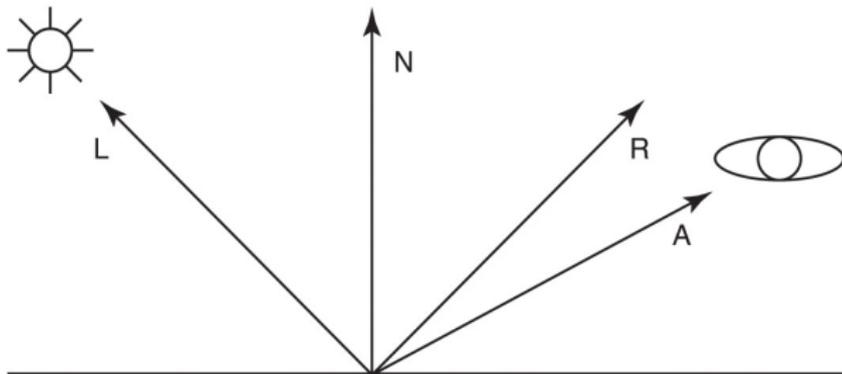


Abbildung 8.12: Vektoren zur Berechnung des Beleuchtungsmodells nach Phong: L zeigt zur Lichtquelle, N ist die Flächennormale, R der reflektierte Lichtstrahl und A zeigt zum Auge.

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Texturen und Verdeckung

- Weiterer mit den Beleuchtungsmodellen gemeinsam nutzbarer Teil
- Texturen sind Bitmaps, die bestimmte Eigenschaften der Objektoberfläche verändern
- Im einfachsten Fall beschreibt die Map die diffuse Reflexionsfarbe an der jeweiligen Stelle (diffuse map)
- Texturen können auch andere Aspekte beschreiben;
 - die Transparenz eines Objektes (transparency map)
 - Abweichung der Geometrie der Objekte (height map)
 - Veränderung der Flächennormalen (normal map)

Verdeckungsrechnung

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation

Szenegraph

Kameramodell

Sichtbarkeit

Licht

Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

- Berechnung der gegenseitigen Verdeckung
- Einfach wieder Painter's algorithm?
- Schlägt fehl bei sich zirkular überlappenden Elementen



Abbildung 8.13: Drei Polygone, die sich zirkulär gegenseitig überlappen und daher mit dem Painter's Algorithm nicht korrekt dargestellt werden können

Z-Buffer

- Für jeden einzelnen Bildwert nicht nur Farbwert RGB speichern, sondern auch Tiefeninformation Z
- Z-Buffer initialisiert mit größtmöglicher Entfernung zur Kamera
- Beim Zeichnen eines Polygons wird die aus den Objekteigenschaften und dem Licht berechnete Farbe eingetragen, plus Z-Wert
- Steht hier schon eine kürzere Entfernung wird das Pixel nicht gezeichnet
- Etwas komplexer bei Transparenz
- Kritisch ist die numerische Genauigkeit
- Wegen effizienter Berechnung Rechnen z.B. mit Festkommadarstellung, 16 Bit
- Sind hintere und vordere Schnittebene zu weit voneinander entfernt und liegen Polygone auf gleicher Z-Ebene kann es wg. Rundungsfehlern zu Artefakten kommen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tesselation
Scenegraph
Kameramodell
Sichtbarkeit
Licht
Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Video 10.4: The Visibility Problem

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Tessellation
Szenegraph
Kameramodell
Sichtbarkeit
Licht
Texturen und
Verdeckung

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



👉 The Visibility Problem – Computerphile

7:58

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

Bilderzeugung

Lokale und Globale Beleuchtungsverfahren

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

- Letzter Schritt ist die Rasterisierung
- Beleuchtung unterschieden in Global und Lokal (global bzw. local illumination)
- Globale Verfahren betrachten die Auswirkungen des Lichts in der ganzen Szene
- Einfacher zu berechnende lokale Verfahren betrachten jedes Polygon und innerhalb des Polygons jedes Pixel
- Abhängig von Flächennormalen, Lichteinfallswinkel, Kameraposition, Umwelteigenschaften

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

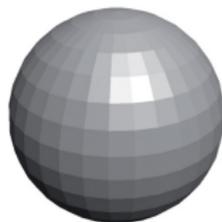
Codierung

Erstellung

Lokal

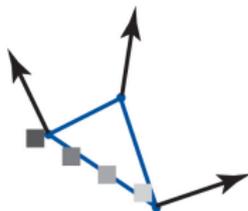
Flat Shading

- Eine einzige Flächennormale für jedes Polygon
 - Beispielsweise das Kreuzprodukt zweier Kanten
- Mit dieser Flächennormalen sowie den Vektoren zur Kamera und zum Licht sowie der Oberflächenfarbe wird eine einfache Beleuchtungsfunktion berechnet
- Dies kann z.B. das eingeführte Model von Phong sein
- Die ermittelte Farbe gilt für alle Pixel des Polygons
- Pro Polygon muß die Beleuchtungsfunktion nur einmal ausgewertet werden
- Der entstehende Bildeindruck ist entsprechend kantig



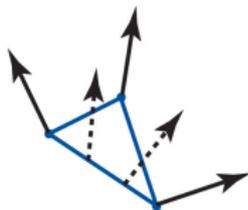
Gouraud Shading

- an allen Eckpunkten des Polygons wird eine Beleuchtungsfunktion ausgewertet, und zwar mit den jeweiligen Flächennormalen
- So ermittelte Farben werden entlang der Kanten linear interpoliert
- Über die Polygonfläche ergibt sich ein Farbverlauf
- Da benachbarte Polygone an den Eckpunkten die gleichen Normalenvektoren haben sind die Übergänge geglättet
- Für jedes Polygon muß die Berechnung aber mehrfach durchgeführt werden
- Dazu kommt die Interpolation der Farbe für jedes Pixel



Phong Shading

- Hier wird der Normalenvektor über die gesamte Polygonfläche hinweg interpoliert
- Erheblich höherer Rechenaufwand durch die Interpolation von Vektoren
- Wesentlicher Vorteil bei der Darstellung von glänzenden Oberflächen
- Je genauer die Approximation an den Ausgaben eines Glanzlichts ist, desto eher wird ein relativ kleines Glanzlicht auch aufgenommen



- Glanzpunkte entstehen dort, wo der Einfallswinkel des Lichts gleich dem Ausfallswinkel ist
- Die Kamera sieht genau in die Spiegelung einer Lichtquelle
- Nehmen wir an, dies sei irgendwo in einem Polygon der Fall
- Ferner nehmen wir Phong-Shading an
 - Beim Flat-Shading ist es purer Zufall, wenn ein Glanzpunkt getroffen wird, dann aber strahlt das ganze Polygon
 - Bei Gouraud-Shading erfüllt keine Flächennormale die Bedingung für den Glanzpunkt wenn er innerhalb liegt, er bleibt damit unsichtbar
 - Phong-Shading gibt die größte Chance, Glanzpunkte wiederzugeben, wenn einer der interpolierten Vektoren dem Normalenvektor des tatsächlichen Glanzpunktes nahekommt

Übersicht lokale Shader

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

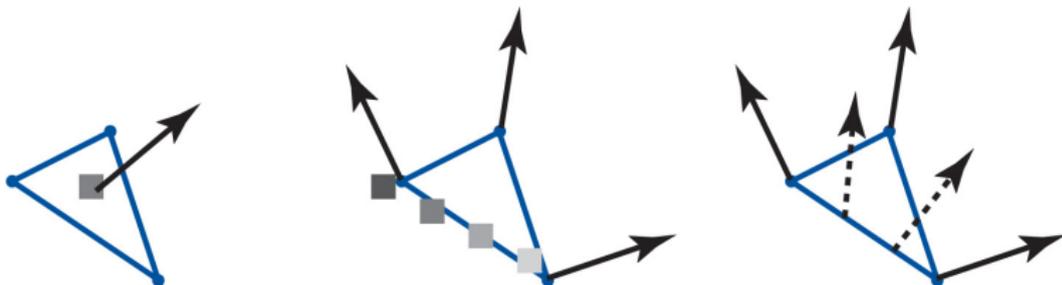


Abbildung 8.14: Funktionsweise des Flat Shading, Gouraud Shading und Phong Shading



Abbildung 8.15

Schatten bei lokalen Shadern

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

- Für die bisher beschriebene Modellierung der Lichts brauchen wir für die diffuse Reflexion und die Glanzreflexion den Winkel zur Lichtquelle
- Problem: Auch die Lichtquelle kann analog zu Objekten von anderen Objekten verdeckt werden
- In diesem Fall sollte das Licht nicht modelliert werden
- Lösung: Einsatz des Z-Buffers, wobei dieses mal von der Lichtquelle aus gerechnet wird
 - Alle Objekte werden von der Lichtquelle aus gesehen in einen Z-Buffer geschrieben
 - Nur bei dem Objekt, welches der Lichtquelle am nächsten ist, wird die lokale Beleuchtung (z.B. mit Phong) berechnet

Video 10.5: Lights and Shadows

Grundlagen

Rendering
Pipeline

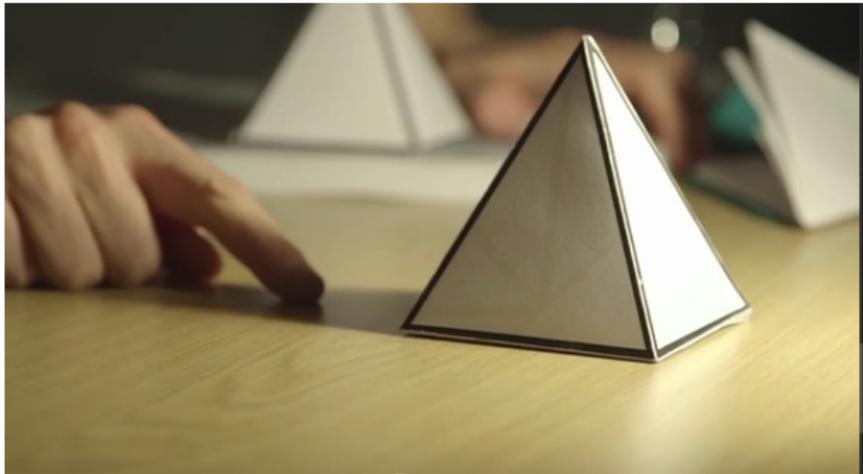
Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung



👉 Lights and Shadows in Graphics – Computerphile

8:49

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal

Global

Animation

Codierung

Erstellung

Global

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

- Bis vor wenigen Jahren waren Globale Verfahren nur offline verwendbar (Hoher Rechenaufwand)
- Realzeitrendering rein lokal
- Durch Optimierung der Algorithmen und durch verbesserte Hardware jetzt auch online machbar
- Wichtig für Computerspiele und Visualisierungen
- Stärkere Immersion durch realistischere Darstellung möglich
- Wie betrachten nur zwei klassische Verfahren
 - Raytracing
 - Radiosity

Raytracing

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

- Verfolgung je eines Blickstrahls vom menschlichen Auge durch jedes Bildschirmpixel in die 3D-Szene
- Trifft auf vordersten davon geschnittene Oberfläche
- Dort entweder reflektiert, gebrochen oder absorbiert
- Bis zu einer gewissen Reflexionstiefe werden gebrochene/reflektierte Streifen ebenfalls verfolgt
- Beim Rücklauf durch die Rekursion ergibt sich die Pixelfarbe als Summe aller gebrochenen und reflektierten Strahlen sowie ggf. der Oberflächenfarbe am Schnittpunkt
- Die Farbe wird dabei durch Beleuchtungsfunktionen analog zu den lokalen Verfahren berechnet
- Nebenbei leistet Raytracing einen Beitrag zur Elimination von Objekten, die im Bild nicht auftauchen können
- Statt Z-Buffer tauchen nur Objekte auf, die von einem Lichtstrahl getroffen werden, der in der Kamera endet

Beispiel Raytracing

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung



Radiosity

- In der Natur wird jede Oberfläche nicht nur direkt von einer Lichtquelle beleuchtet, sondern auch durch Lichtanteile, die von anderen Objekten diffus reflektiert wurden und jetzt indirekt auf die Oberfläche einwirken
- Oberflächen werden unterteilt
- Dann wird die direkt einfallende Lichtenergie berechnet
- Daraus und dem diffusen Reflexionskoeffizienten ergibt sich die abgestrahlte Menge
- Dann wird iterativ berechnet, welcher Anteil der Lichtenergie bei wieder anderen Oberflächen ankommt
- Nahe beieinander liegende Flächen beeinflussen sich stärker als weit entfernt liegende
- Nach vielen Durchläufen stabilisiert sich das Verfahren
- Berechnung aufwendig, quadratisch zur Anzahl der Flächen und iterativ
- Radiosity ist unabhängig von der Kameraposition!

Beispiel Radiosity

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung

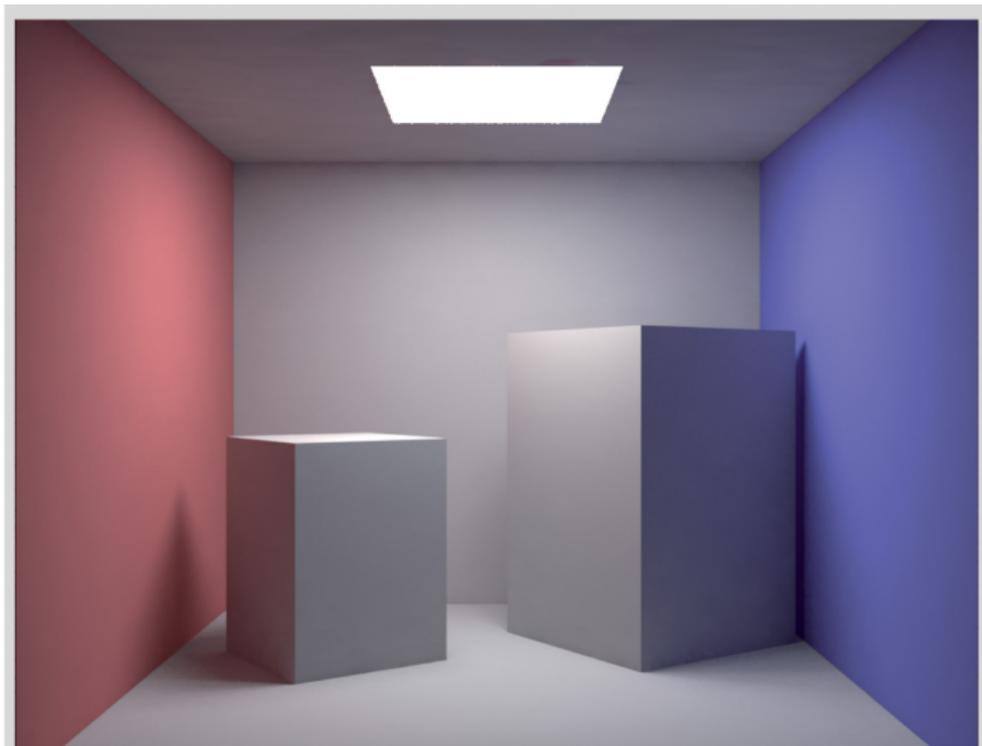


Abbildung 8.17

- Radiosity wird häufig in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt, um den diffusen Charakter des Lichts aufzugreifen
- Verdeckung muß durch andere Verfahren sichergestellt sein (Raytracing, Z-Buffer)
- Da Raytracing Spiegelungen und Brechungen beherrscht, was Radiosity nicht kann, werden beide inzwischen häufiger zusammen benutzt.

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Lokal
Global

Animation

Codierung

Erstellung



Abbildung 8.18

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Animation

- Um aus 3D-Szene, Lichtern, Oberflächen und Kamera eine bewegte Darstellung (3D Animation) zu erzeugen muß jegliche Veränderung in der Szene (Bewegung von Objekten, Lichtern, Kameras; Veränderung der Transparenz) als Veränderung in der Zeit beschrieben sein
- Bisher Keyframing eingeführt
- Der zu steuernde Parameter wird zu mindestens zwei Zeitpunkten fixiert, die Bewegung dazwischen wird durch lineare Interpolation oder Kurven bestimmt
- Neben Keyframing andere Methoden, wie physikalische Simulation (mit Aufgabe von detaillierter Kontrolle)
- Partikelsysteme, z.B. für Wolken, Vogelschwärme
- Mit der inversen Kinematik wird die Bewegung komplexer Apparate aus der Bewegung weniger Kontrollpunkte abgeleitet (Skelettanimation)
- Bei Animationsfilmen häufig auch: Motion-Capture

- **Partikelsysteme** ermöglichen mittels einer physischen Simulation die Animation vieler einzelner Objekte
 - Einzelne Partikel bekommen bestimmte Eigenschaften, dazu gerne eine Zufallskomponente
- **Particle-in-cell-Methoden (PIC)**
 - Grundidee: Neben einer Modellierung der einzelnen Partikel wird auch die Interaktion benachbarter Partikel modelliert
 - Letztlich basierend auf den Ideen der Finite Element Method
- Programmcode kann das Verhalten von Objekten beeinflussen (**Scripting**)
- Grafiken können **interaktiv** auf Anreize reagieren

Video 10.6: Partikelsysteme

Grundlagen

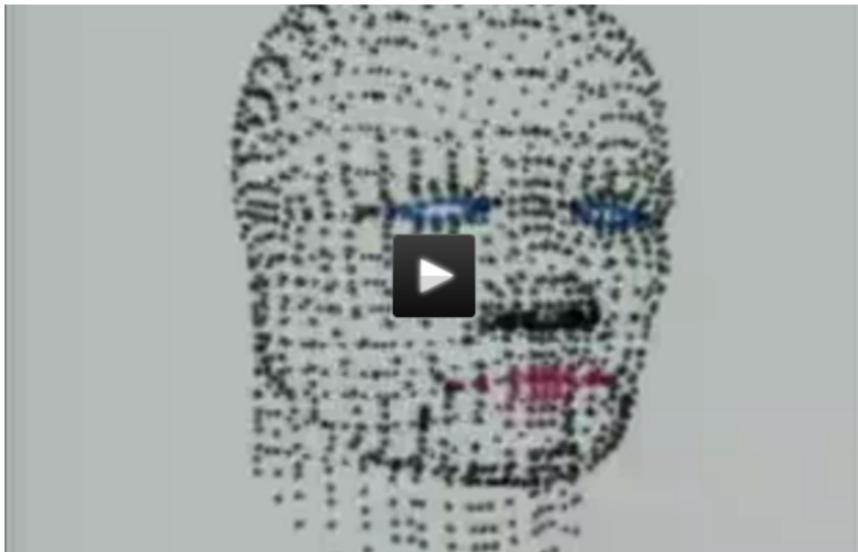
Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



📺 Particle Dreams (1988)

1:30

Video 10.7: Artificial Life

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



🔍 Panspermia (1990)

2:08

Video 10.8: Material Point Method

Grundlagen

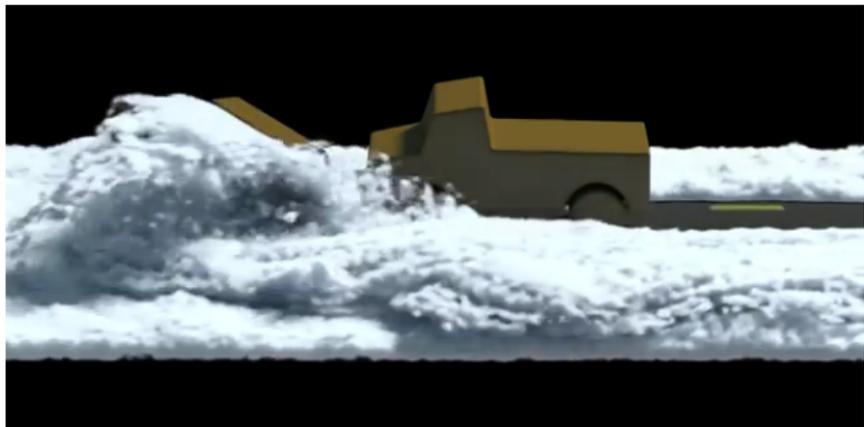
Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung



👉 Disney's Frozen - An MPM For Snow Simulation

3:55

- Material Point Methods (MPM) sind eine Erweiterung von Particle-in-cell-Methoden (PIC)
- Grundidee: Überlagerungen einer ortsfixen Modellierung grundlegender Eigenschaften des zu modellierenden Objektes und einer mit den Partikeln fließenden Modellierung
- Letztlich basierend auf den Ideen der Finite Element Method
- Hier wird ein zu modellierendes Gesamtsystem in kleinere Systeme zerlegt, die für sich modelliert werden
- Statt eines großen Differentialgleichungssystem Approximation durch kleine, lokale Gleichungssysteme

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D
Demo

Erstellung

Codierung

- Viele, oft herstellerspezifische Dateiformate für 3D-Daten
- Offene Standards z.B.:
 - Virtual Reality Modeling Language (VRML)
 - X3D, offizielles Nachfolgeformat
 - XML-Syntax
 - VRML-Syntax
- Nicht betrachtet: komplexe Beschreibungen in Form einer Programmierschnittstelle
 - DirectX
 - OpenGL
 - OpenGL embedded
 - WebGL
 - Enthalten alle grundlegenden Funktionen der Rendering-Pipeline

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D

Demo

Erstellung

X3D

- Verschiedene Formate definiert
 - XML, VRML, Binär
- Anwendungsmöglichkeiten
 - Bereitstellung von 3D-Szenen im Web
 - Austauschformat
- Rendering abhängig von der verwendeten Software
- Enthält
 - Geometrische Beschreibung einer 3D-Szene
 - Oberflächenbeschreibungen
 - Kamerapositionen (Viewpoints)
 - Lichtquellen

- Definierte Profile, die jeweils die unterstützten Features beschreiben
- Verbreitung eingeschränkt, aber Konzepte gut verständlich
- Rendering im Browser mit WebGL und JavaScript (ohne Plugin) prinzipiell möglich

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D>
<X3D profile='Immersive'>
  <head/>
  <Scene>
    <!-- Beschreibung der Szene -->
  </Scene>
</X3D>
```

- Quader, Zylinder, Kugel, Polygonnetze
- Jedes Element besitzt Oberflächenbeschreibung
- Gruppiert in Shape-Elementen

```
<shape>  
  <appearance>  
    <material diffuseColor='0,0,1'></material>  
  </appearance>  
  <box></box>  
</shape>
```

- Standardeinstellung: von (0,0,1) entlang negativer z-Achse

```
<Viewpoint position="-2,2.5,4"
  orientation="3,2,0,-0.7">
</Viewpoint>
```

- Position klar
- Orientation: Rotationsachse und Winkel
 - Achse (3,2,0)
 - Winkel -0.7 Radian

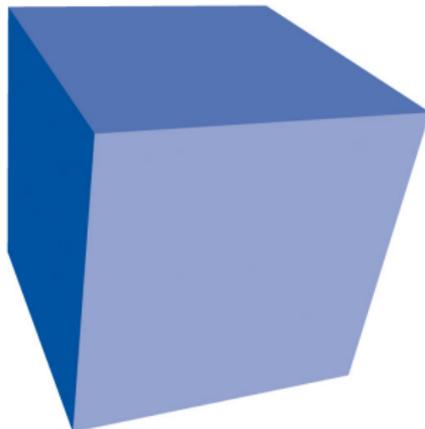


Abbildung 8.20: Blauer Würfel mit veränderter Kameraposition

 Demonstrationen: X3D

Gruppen, Szenegraph

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D

Demo

Erstellung

- Objekte können in Gruppen zusammengefaßt und gemeinsam transformiert werden
- Bezeichner mittels DEF festgelegt
 - Wiederverwendung
 - Animation

```
<Transform DEF="t1" translation="0.75 0 0">  
  <!-- Hier alle Objekte der Gruppe -->  
</Transform>
```

- Eigentlich dürften wir ohne Lichtquelle nichts sehen
- X3D erzeugt, wenn nichts anderes spezifiziert ist, ein Headlight
 - Gerichtetes Licht parallel zur Kameraachse
 - Schlagschattenfrei
- Lichtquellen enthalten Informationen wie
 - Position, Farbe, Richtung, Helligkeit, Winkel
- Lichtquellen können in Gruppen auftauchen und mit diesen transformiert/animiert werden

```

<NavigationInfo headlight='false'>
<directionalLight
  direction="3,-2,-1" intensity='1.0'>
</directionalLight>
<Spotlight location="3,-2,-1"
  direction="0 0 1" beamWidth='0.8'>
</Spotlight>
  
```

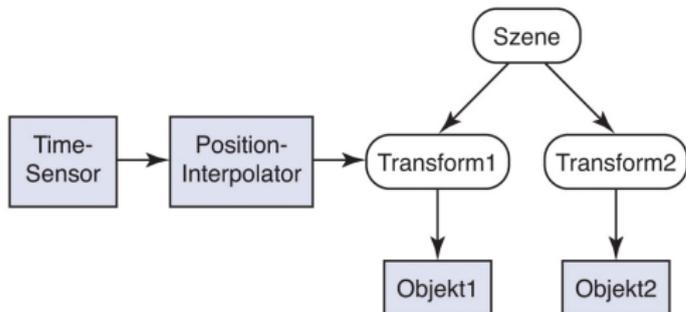


Abbildung 8.21: Animation in X3D mittels TimeSensor, PositionInterpolator und Transform Knoten

Animation: Grundlagen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D
Demo

Erstellung

- Treibendes Element ist eine Uhr, der sogenannte TimeSensor
- Beschreibt Keyframes auf einem Intervall von 0.0 bis 1.0
- Liefert ein Signal, das im Verlauf des angegebenen Intervalls von 0.0 auf 1.0 steigt und dann wieder bei 0.0 anfängt
- Dieses Signal steuert den Interpolator
- Es gibt verschiedene, z.B. für Positionen
- Angegeben sind jeweils timestamp und Position

```
<TimeSensor DEF="ts1" cycleinterval="2" loop="true">
</TimeSensor>
<PositionInterpolator DEF="pi1"
  key="0,0.5,1" keyValue="0.5 0 0, -1 0 0, 0.5 0 0">
</PositionInterpolator>
```

Animation: Verarbeitungskette

- Die angegebenen Positionswerte können eine Transformation verändern
- Eine Animation ist eine Kette aus TimeSensor, Interpolator und Transformation
- Alle Objekte werden über ihren Identifikator (DEF) angesprochen
- Interaktivität durch Sensoren, die auf Mausinteraktion reagieren
- Möglichkeit, Skripte zu definieren

```
<ROUTE fromField="fraction_changed" fromNode="ts1"  
  toField="set_fraction" toNode="pi1">  
</ROUTE>  
<ROUTE fromField="value_changed" fromNode="pi1"  
  toField="translation" toNode="t1">  
</ROUTE>
```

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D

Demo

Erstellung

Demo

Demoszene

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D

Demo

Erstellung

- Versuch, eindrucksvolle grafische und musikalische Effekte mit minimalen Mitteln zu erzeugen
- Ursprünglich erzwungen durch die Beschränkungen der Hardware (C64, Amiga)
- Beispiele für Methoden
 - Executable: komprimiert mit eingebauter Dekompression (wie UPX), Dekompressor selber klein
 - Ton: Synthesizer + MIDI-Dateien
 - Video: Ausnutzen von Systemfähigkeiten plus algorithmischer Codierung der Inhalte
 - OpenGL, Direct X API inklusive z.B. Pixelshadern
 - Algorithmische oder vektorisierte “Wireframes”
 - Prozedurale Texturen (z.B. (fraktales) Rauschen auf Flächen, zelluläre Automaten, genetische Algorithmen)
- Nur Anwendbar auf algorithmisch erstellte Inhalte
 - Aber Grundprinzipien sind Gegenstand von Forschungen für die Kompression natürlicher Videos (z.B. genetische Algorithmen für die Rekonstruktion von Frames)

Video 10.9: fr-041: debris

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

X3D

Demo

Erstellung



[Vimeo](#)

[farbrausch](#)

177kB, 2007

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung

Erstellung

- Die bisher besprochene Rendering-Pipeline wird auf bereits definierte Objekte angewandt
- Die Frage ist dann, wie diese Objekte und die Szene, in denen sie auftauchen, in eine digitale Repräsentation umgesetzt werden
- Wie auch bei anderen Medientypen besprochen gibt es zwei grundlegende Vorgehensweisen:
 - Synthese
 - Abtastung
- Wir werden kurz die Möglichkeiten zur Synthese von 3D-Szenen erörtern und dann ein Beispiel für die Abtastung sehen

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung

Synthese

- In der Regel mehrere Schritte
 - Storyboard/Skizzen
 - Erstellung von Modellen bzw. Auswahl aus Datenbanken
 - Materialien und Oberfläche der Objekte
 - Ausleuchtung der Szene
 - Prinzipien aus Film und Photo
 - Ausnutzen der Möglichkeiten digitaler Modellierung
 - Position der Kamera
 - Animation
 - Rendering

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese

Abtastung

- Breites Spektrum
 - Texteditor
 - Blender
 - 3D-Studio Max, Maya, Cinema4D
- Gerade bei kommerziellen Werkzeugen häufig Trennung von Modellierung/Inszenierung und Rendering
 - Komplette Szene exportiert
 - Eigene Rendering-Software

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung

- Animation
 - Interaktive Definition von Keyframes mit Maus & Tastatur
 - Tracking von Menschen
- Texturen
 - Mit Bildbearbeitungsprogrammen
 - PhotoShop, Gimp
 - Prozedurale Generierung

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung

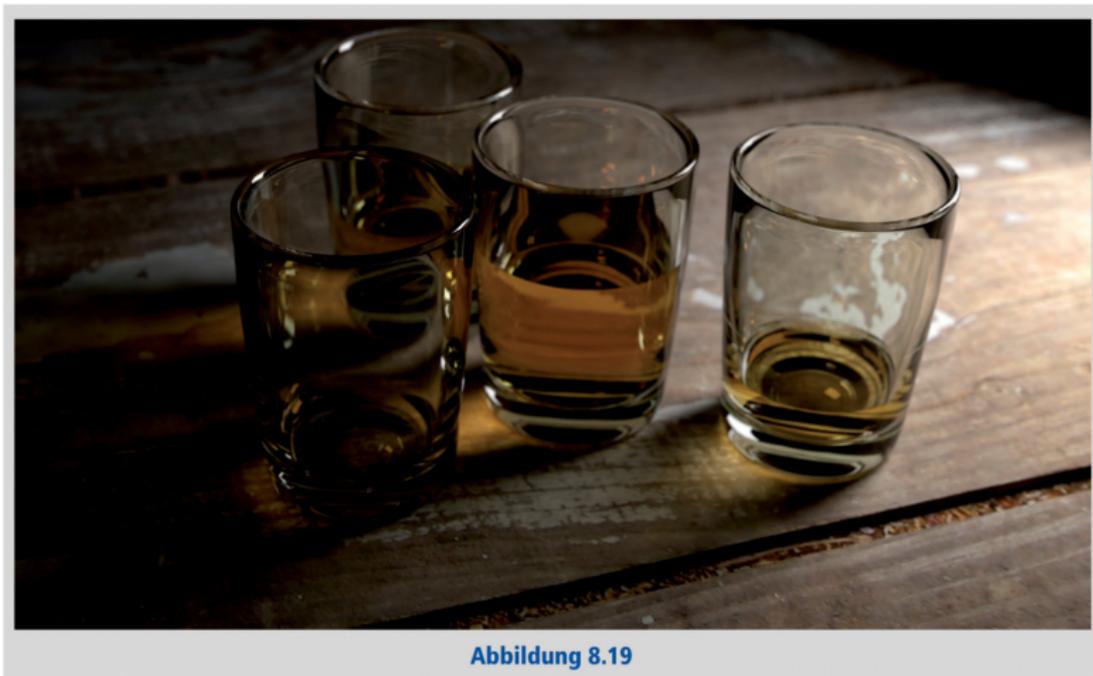


Abbildung 8.19

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese

Abtastung

Abtastung

- Bisher haben wir vor allem Fälle betrachtet, bei denen das gesamte Signal entweder abgetastet oder synthetisiert wird
- Mischformen sind aber möglich
 - Mischung von Computergenerierten Inhalten mit Live-Aufnahmen, wie im Bereich Video gesehen
- Im Bereich der 3D-Graphik spielt eine weitere Unterscheidung eine Rolle:
 - Vollständige Abtastung von sowohl Tiefeninformation als auch Bildinhalten (über Texturen)
 - Abtastung von Tiefeninformation und Überlagerung mit synthetisierten Texturen
 - Beispiel Augmented Reality
- Im folgenden ein Beispiel für Abtastung von sowohl Tiefeninformation als auch Oberflächeneigenschaften

Video 10.10: Thorskan Demo

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung



🖱️ Demo: Thorskan

2:19

Video 10.10: Thorskan Setup

Grundlagen

Rendering
Pipeline

Bilderzeugung

Animation

Codierung

Erstellung

Synthese
Abtastung



3D-Graphik

Jörg Cassens

Institut für Mathematik und Angewandte Informatik

Medieninformatik
WS 2018/2019



medieninformatik

IMAI – Institut für
Mathematik und
Angewandte Informatik