

# **Computergrafik I**

## **Kapitel 1: Einführung**

Wintersemester 2014/2015

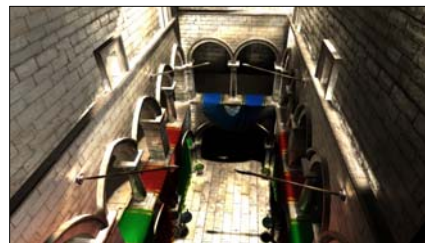
Prof. Dr. Timo Ropinski  
Forschungsgruppe Visual Computing

## **Inhalte der Vorlesung**

- Computer-gestützte Erstellung von Bildern
  - Rendering, Bildsynthese
- Fokus liegt auf Echtzeit-fähiger Computergrafik



[Credits: Wikipedia User Mimigu]



[Crassin et al., PG2011]

## Lernziele der Vorlesung

- Theoretische Kenntnisse
  - Grundlegender Konzepte und Algorithmen
  - Konzeptionelle Stufen der Renderingpipeline
- Praktische Umsetzung
  - Anzeige polygonaler Modelle mit Texturierung und Beleuchtung
  - Implementierung von Grafikalgorithmen auf CPU und GPU

$$t = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

[illegible]

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

## Kapitel 1: Einführung

3

## Über den Dozenten

- 2004 – Promotion im Bereich Visualisierung & Computergrafik an der Universität Münster
- 2005-2011 – Projektleiter im SFB 656
- 2009 – Habilitation im Fach Informatik
- 2011-2014 – Professur an der Universität Linköping (SE)
  - Leiter der Forschungsgruppe Visualisierung
- seit 11/2014 – Professur an der Universität Ulm
  - Leiter der Forschungsgruppe Visual Computing
- Forschungsinteressen: Volumen Rendering, Interaktive Visualisierung, Visuelle Wahrnehmung, Visuelle Analyse,

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

## Kapitel 1: Einführung

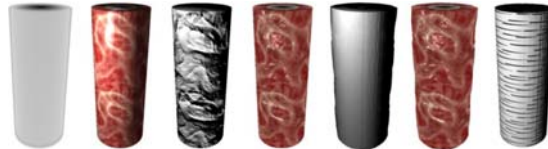
4

## Eigene Forschung 1/2

- Globale Illumination im Volume Rendering



- Interaktive Computergrafik



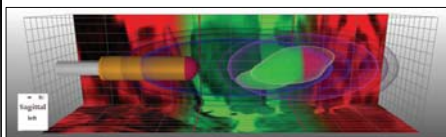
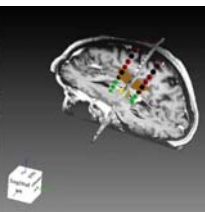
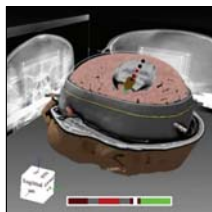
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

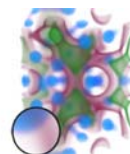
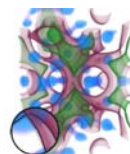
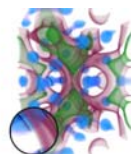
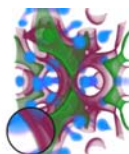
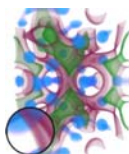
5

## Eigene Forschung 2/2

- Biomedizinische Visualisierung



- Visuelle Wahrnehmung



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

6

## 1.1 Organisatorisches

Details zum Ablauf der Vorlesung

## Lehrende

### ▪ Vorlesung

- Prof. Dr. Timo Ropinski  
Raum O27/3208  
[timo.ropinski@uni-ulm.de](mailto:timo.ropinski@uni-ulm.de)  
Sprechstunden nach Vereinbarung



### ▪ Übungen

- Peter Bendel  
[peter.bendel@uni-ulm.de](mailto:peter.bendel@uni-ulm.de)  
„Sprechstunde“ während den Übungen

## Zielgruppe & Disziplinen

- Studierende der folgenden Studiengänge
  - Informatik (M.Sc., Lehramt)
  - Medieninformatik (B.Sc., M.Sc.)
  - Software-Engineering (M.Sc.)
- Relevante Disziplinen
  - Informatik
  - Mathematik
  - Physik

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

9

## Veranstaltungsformat

- Vorlesung
  - Kompakte Vorlesung im Januar 2015
    - Termine auf der Vorlesungswebsite
  - Vorlesungsfolien
    - Stehen im Skriptdrucksystem online
    - Werden durch Tafelbilder ergänzt!
    - Erklären sich im allgemeinen **nicht** selbst!
  - Zusätzliche Materialien in Moodle abrufbar
- Übungen
  - Parallel zur Vorlesung  
(Fertigstellung in den Semesterferien)
  - Programmierung in C/C++  
(Einführung erfolgt in den Übungen)

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

10

## Übungen

- Übungstermine
  1. Mi 14. Januar, 16-18 (O27/123): Einführung C++
  2. Do 22. Januar, 10-12 (O27/123): Ray Tracing
  3. Do 29. Januar, 10-12 (O27/123): OpenGL
  4. Do 05. Februar, 10-12 (O27/123): Transformationen
  5. Mi 08. April(!), 16-18 (O28/H21): Echtzeit Rendering Projekt
- Übungsaufgaben (Theorie & Praxis)
  1. Ray Tracing (10Pkt., Abgabe: 21. Januar, 23:59)
  2. OpenGL (10Pkt., Abgabe: 28. Januar, 23:59)
  3. Transformationen (10Pkt., Abgabe: 04. Februar, 23:59)
  4. Echtzeit Rendering Projekt (70Pkt., Abgabe: 05. April, 23:59)
- Die Abgabe erfolgt in zweier Gruppen

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

11

## Leistungsnachweis

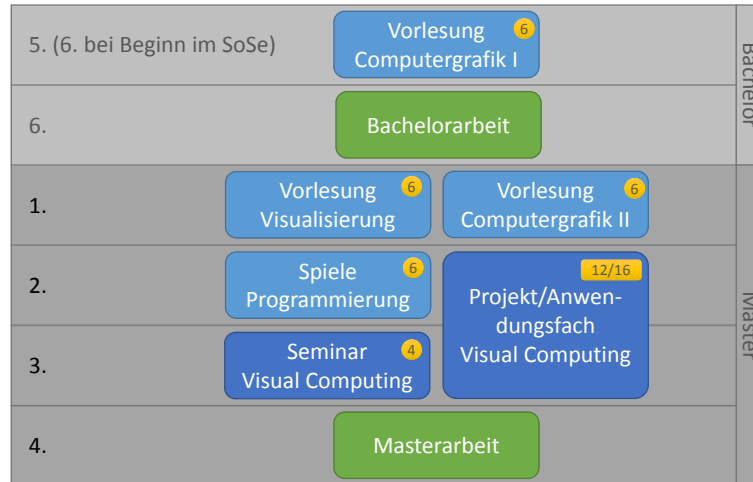
- Schriftliche Abschlussprüfung
  - Mo 16. Februar 2015, 14-16 (N25/H3)
  - Do 09. April 2015, 14-16 (O28/H20)
- „Notenzuschlag“ möglich
  - 60% der Übungspunkte benötigt
  - Nur laufende Lösungen werden bewertet
  - Punkteabzug bei Überschreitung der Abgabefristen
    - 2 Punkte pro Tag (Wochenende zählt als ein Tag)
    - Nicht möglich bei Echtzeit Rendering Projekt
- Vorstellen der Lösung eines Übungszettels
  - Einmal möglich um 10% zu kompensieren
  - Detaillierte Darstellung des Lösungswegs in der Übungsgruppe
  - Beantwortung von Fragen zum Lösungsweg

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

12

## Spezialisierung in Visual Computing



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

13

## Kapitelübersicht

- Kapitel 1: Einführung
- Kapitel 2: Ray Tracing
- Kapitel 3: Die Renderingpipeline
- Kapitel 4: Geometrische Transformationen
- Kapitel 5: Geometrische Projektionen
- Kapitel 6: Farbe und Schattierung
- Kapitel 7: Clipping
- Kapitel 8: Rasterisierung
- Kapitel 9: Sichtbarkeitsermittlung
- Kapitel 10: Texturierung
- Kapitel 11: Schattenberechnung
- Kapitel 12: Parametrisches Modellieren
- Kapitel 13: Datenstrukturen

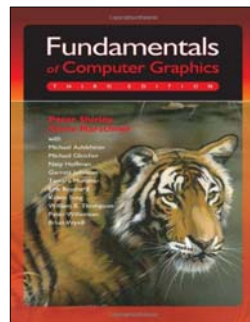
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

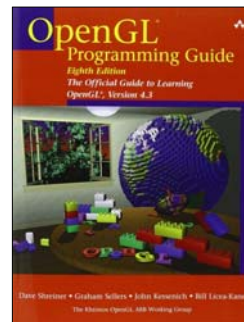
14

## Literatur

- P. Shirley, M. Ashikhmin, S. Marschner: **Fundamentals of Computer Graphics** (3. Auflage), AK Peters 2009.
- D. Shreiner, G. Sellers, J. Kessenich, B. Licea-Kane: **OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL** (8. Auflage), Addison-Wesley 2013.



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

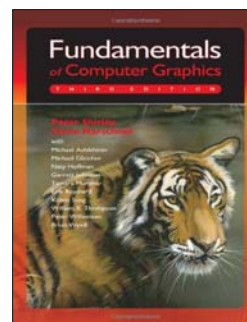


Kapitel 1:  
Einführung

15

## Relevante Kapitel und Bezug zur Vorlesung

- Chapter 1: Introduction
- Chapter 3: Raster Images
- Chapter 21: Color
- Chapter 4: Ray Tracing (Kapitel 2)
- Chapter 8: The Graphics Pipeline (Kapitel 3)
- Chapter 6: Transformation Matrices (Kapitel 4)
- Chapter 7: Viewing (Kapitel 5)
- Chapter 10: Surface Shading (Kapitel 6)
- Chapter 11: Texture Mapping (Kapitel 10)
- Chapter 15: Curves (Kapitel 12)
- Chapter 12: Data Structures (Kapitel 13)
- Zum selber nachschlagen
  - Chapter 2: Miscellaneous Math
  - Chapter 5: Linear Algebra
  - Chapter 19: Building Interactive Graphics Applications



P. Shirley et al.: **Fundamentals of Computer Graphics**.

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

16



## Kapitelstruktur

- (1.1 Organisatorisches)
- 1.2 Einordnung des Gebiets
- 1.3 Pixel-basierte Darstellung
- 1.4 3D Modelle
- 1.5 Algorithmische Paradigmen
- 1.6 Weiterführende Literatur

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

17

## 1.2 Einordnung des Gebiets

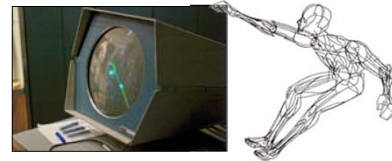
Computergrafik in Relation zu anderen Fachgebieten

18

## Geschichte

[Reichardt, Jasia, ed. 1968. Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts. In: Reichardt, Jasia, ed.. *Studio International*, London.]

- Ursprünge in der Kunst
  - Perspektive, Farbe etc.
- Entstehungsgeschichte
  - 1960 – „*Computer Graphics*“, William Fetter (Boeing)
  - 1962 – [Spacewars](#), Steve Russel (MIT)
  - 1963 – [Simulation of a two-giro gravity attitude control system](#), Edward Zajac (Bell)
  - 1963 – [Sketchpad](#), Ivan Sutherland (MIT)
  - 1964 – *Boeing Man*, William Fetter (Boeing)
  - 1966 – [Head Mounted Display](#), Ivan Sutherland (MIT)
  - 1968 – *Ray Casting*, Arthur Appel (IBM)
  - 1979 – [Ray Tracing](#), Turner Whitted (Bell)



Computer  
Graphics



William Fetter  
(1960)

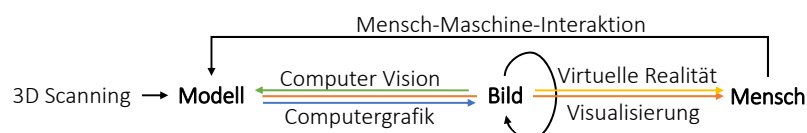
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

19

## Angrenzende Fachgebiete

- Mensch-Maschine-Interaktion
- Virtuelle und Erweiterte Realität
- Visualisierung
- Bildverarbeitung
- Computer Vision
- 3D Scanning



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

20

## Anwendungen

- Computerspiele
- Animationsfilme
- Cartoons
- Spezialeffekte in Filmen
- CAD/CAM
- Simulation



[Far Cry 4, Ubisoft 2014]



[Terminator 2, Tri-Star Pictures 1991]



[Toy Story, Walt Disney Pictures 1995]

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

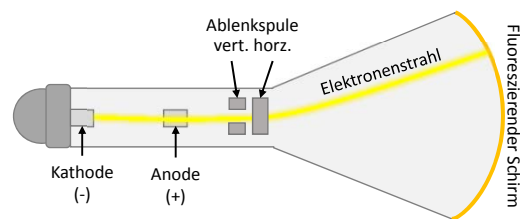
21

## 1.3 Pixel-basierte Darstellung

Was ist ein Pixel?

## Röhrenbildschirme

- Bildröhre nach dem Kathodenstrahl Prinzip



Karl Ferdinand Braun  
(1897)

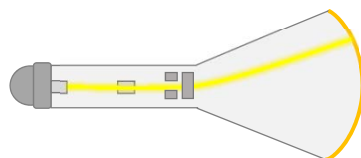
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

23

## Vektor Bildschirme

- Zeitraum: 1963-80er Jahre
- Kathodenstrahl zum „zeichnen“ von Linien verwendet
- Bildwiederholrate:
  - Abhängig von der Komplexität (Anzahl und Länge) der Linien
  - Häufig Flackern in der Darstellung



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

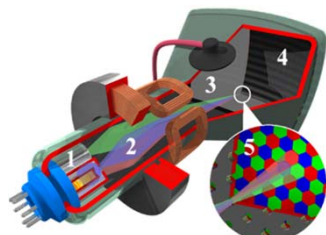
24

## Raster Bildschirme

- Zeitraum: 1972-90er Jahre
- Kathodenstrahl trifft durch Matrix
- Flächige Zeichenprimitive möglich



Rastrum (lat. für Rechen)



[Quelle: Søren Peo Pedersen]



outline primitives



filled primitives

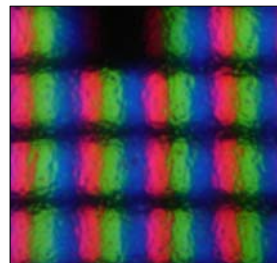
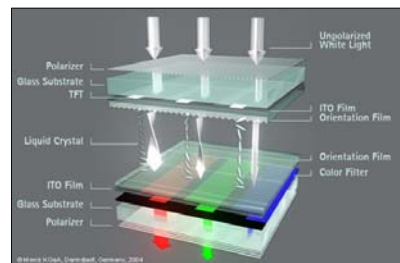
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

25

## Raster LCD Bildschirme

- Zeitraum: seit den 90er Jahren
- Flüssigkristalle beeinflussen Polarisation des Lichts
- Flache Bauweise möglich



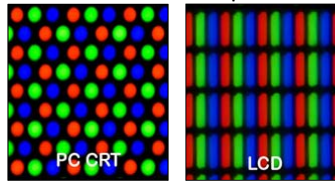
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

26

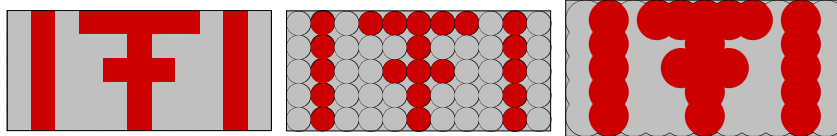
## Raster Bilder 1/4

- Einzelne Pixel bestehen aus Subpixeln



- Unterschiedliche Rasterkonzepte sind denkbar

- Raster nicht überlappender Rechtecke
- Raster nicht überlappender Kreise
- Raster überlappender Kreise



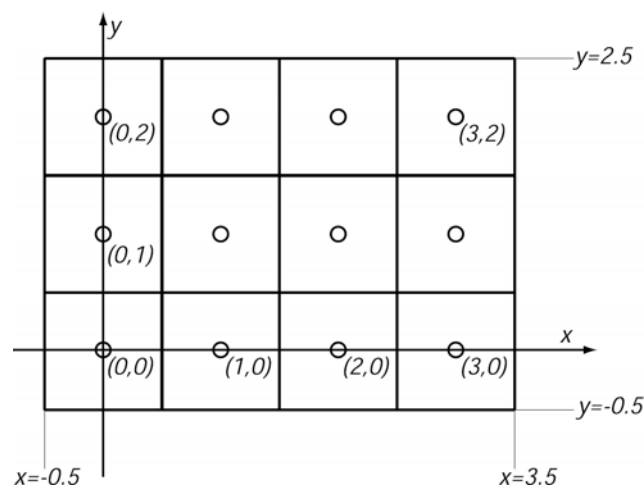
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

27

## Raster Bilder 2/4

- Raster wird durch identische Zellen (=Pixel) gebildet

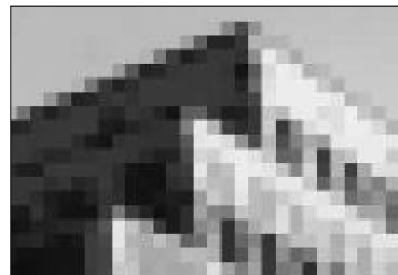
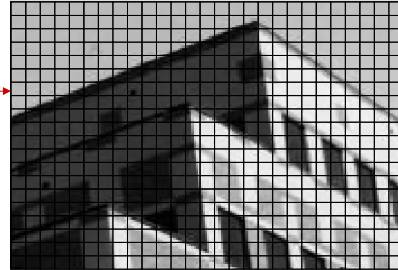


Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

28

## Raster Bilder 3/4



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

29

## Raster Bilder 4/4

- Reinzoomen in Raster / Vektorbilder zeigt Qualitätsunterschiede



**Raster**

**Vektor**

Eine Rose ist eine Rose  
eine Rose ist eine Rose

Eine Rose ist eine Rose  
eine Rose ist eine Rose

100%

Eine Rose i

Eine Rose i

200%

Eine l

Eine l

400%

Ei

Ei

800%

**"Raster is faster but vector is correct(er)"**

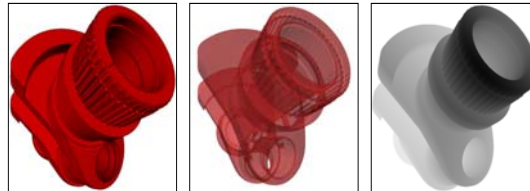
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

30

## Pixel

- Name entstand als Kunstwort für *Picture Element*
- Ein Pixel ist ein Sample mit assoziierten Sample-Werten (=Pixel Komponenten)
  - Farbwerte
  - Transparenzwerte
  - Tiefenwerte
  - ...
- Pro Sample-Wert steht eine bestimmte Bit-Tiefe zur Verfügung
  - z.B. 24 Bit Farbe, 8 Bit Alpha + 24 Bit Tiefe



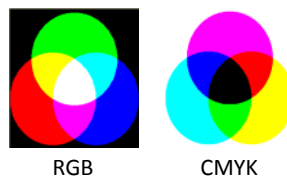
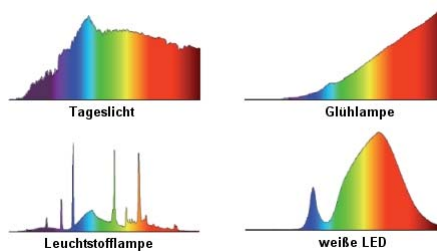
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

31

## Farbe

- Farbe in der Realität durch Farbspektrum gegeben
- Im Computer wird Farbe durch Farbmodelle repräsentiert
  - RGB Farbmodell (additiv)
  - CMYK Farbmodell (subtraktiv)
  - HSV Farbmodell (Benutzer-zentriert)



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

32



## Beispielwerte

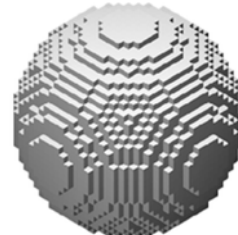
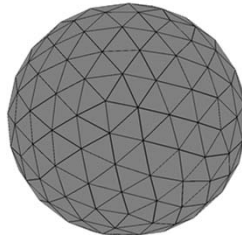
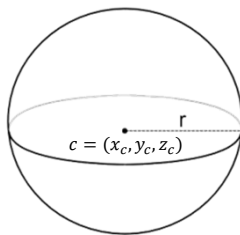
- Gegeben Bild mit 1024x768 Pixeln und 24Bit Farbtiefe
  - Wieviele unterschiedliche Farben sind darstellbar?
    - $2^{24} = 2^8 \cdot 2^8 \cdot 2^8 = 256^3 = 16.777.216$
  - Wieviel Speicher benötigt ein Bild?
    - $1024 \cdot 768 \cdot 24 = 18.874.368b = 2.359.296B = 2,25MB$
  - Wie lange ist jedes Bild bei einer Bildwiederholrate von 30Hz sichtbar?
    - $\frac{1.000ms}{30} = 33,33ms$
  - Wieviel Daten werden pro Sekunde generiert?
    - $2,25MB \cdot 30 = 67,5MB$

## 1.4 3D Modelle

Modellierung mit Dreiecken und anderen Primitiven

## Arten von Modellen

- Modelle spezifizieren die darzustellenden Strukturen
- Drei häufig verwendete Modellierungsarten
  - Implizite Flächen
  - Polygonale Modelle
  - Volumetrische Modelle



$$f(x, y, z) = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 - r^2$$

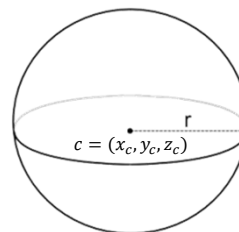
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

35

## Implizite Flächen

- Menge aller Punkte mit  $f(x, y, z) = 0$
- Alle Punkte mit  $f(x, y, z) < 0$  definieren den durch  $f(x, y, z) = 0$  begrenzten Körper
- Darstellungsmöglichkeiten
  - Nullstellensuche
  - Polygonalisierung
  - Rasterisierung
- Nicht alle Objekte direkt abbildbar



$$f(x, y, z) = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 - r^2$$

Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

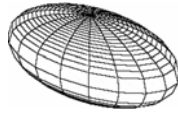
Kapitel 1:  
Einführung

36

## Quadriken

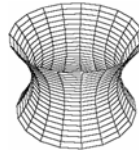
- Flächen basierend auf quadratischen Gleichungen

Ellipsoid



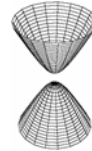
$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{z^2}{\gamma^2} - 1$$

Einschaliges Hyperboloid



$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} - \frac{z^2}{\gamma^2} - 1$$

Zweischaliges Hyperboloid



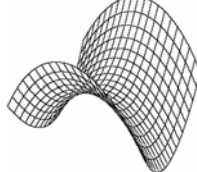
$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} - \frac{z^2}{\gamma^2} + 1$$

Elliptisches Paraboloid



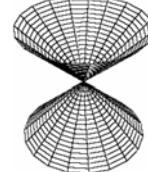
$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} - z$$

Hyperbolisches Paraboloid



$$f(x, y, z) = -\frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} - z$$

Elliptischer Kegel



$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} - z^2$$

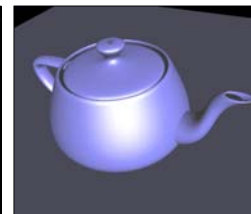
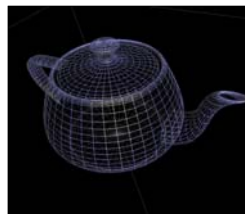
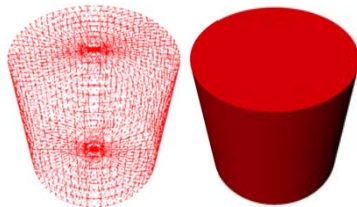
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

[Eldar Sultanow: Implizite Flächen] 37

## Polygonale Modelle

- Oberflächenrepräsentation wird durch Polygone angenähert
- Darstellung
  - Rendering durch Rasterkonvertierung von Dreiecken



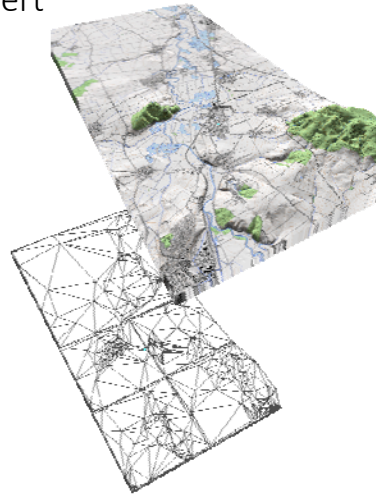
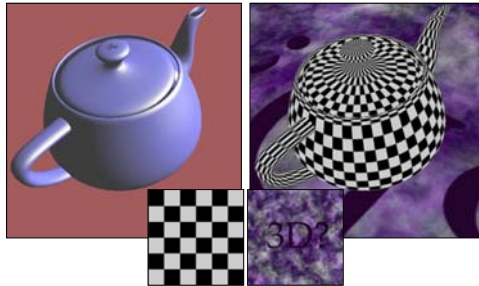
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

38

## Polygonale Modelle - Attribute

- Zum Zwecke der Darstellung werden unterschiedliche Attribute mit einem Modell assoziiert
  - Farben
  - Materialeigenschaften
  - Texturen
  - ...



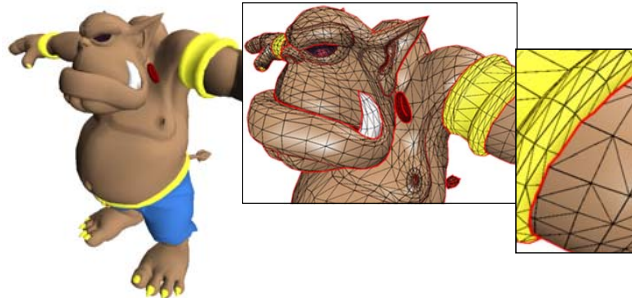
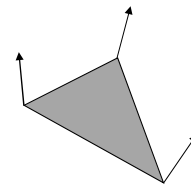
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

39

## Polygonale Modelle - Normalen

- Flächennormalen häufig erforderlich
- Berechnung über Kreuzprodukt
- Anwendungsfälle
  - Beleuchtung: Orientierung einer Fläche zur Lichtquelle
  - Clipping: Verwerfen von Strukturen auf einer Seite



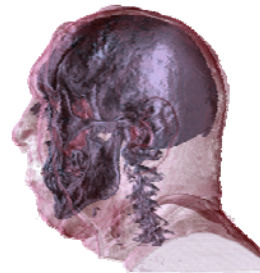
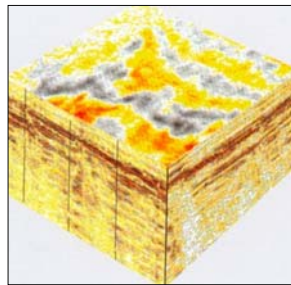
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

40

## Volumetrische Modelle

- Voxel (*Volume Elements*) repräsentieren einen Körper
- Darstellungsformen
  - Rendering extrahierter Oberflächen
  - Direktes Rendering mit spezialisierten Algorithmen



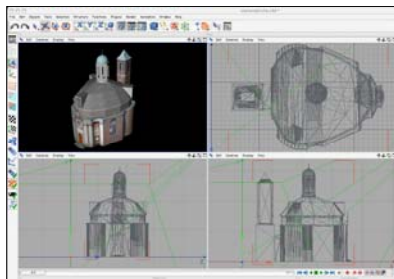
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

41

## Generierung von Modellen

- Polygonale Modelle: 3D Scanner & 3D Modellierungssoftware
- Volumetrische Modelle: Medizinische Scanner, Seismische Messungen, Simulation, ...



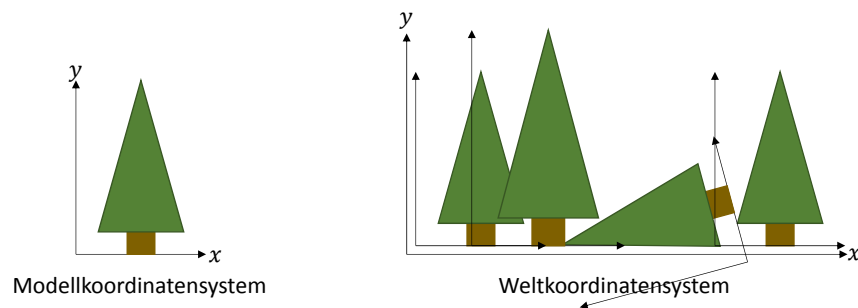
Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

42

## Koordinatensysteme

- Modelle werden in ihrem eigenen Koordinatensystem spezifiziert (Modellkoordinatensystem)
- Bei Überführung ins Weltkoordinatensystem können Modelle verschoben, skaliert und rotiert werden



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

43

## 1.5 Algorithmische Konzepte

Grundlegende Paradigmen und unterschiedliche Schulen

## Bild-basierte Algorithmen

- Anzahl auszuführender Verarbeitungsschritte direkt proportional zur Anzahl der Pixel

```
for all Pixels do {
  for all SceneObjects do {
    ...
  }
}
```

- Vorteile
  - Einfache Umsetzung
  - Schatten & Reflexionen einfach umsetzbar, da in der Schleife alle Objekte zugreifbar sind
- Nachteile
  - Lange Berechnungszeiten

## Objekt-basierte Algorithmen

- Anzahl auszuführender Verarbeitungsschritte direkt proportional zur Anzahl der Modelle (Szenenobjekte)

```
for all SceneObjects do {
  for all Pixels do {
    ...
  }
}
```

- Vorteile
  - Schnelle Berechnungszeiten
- Nachteile
  - Komplexe Umsetzung
  - Schatten & Reflexionen schwierig umsetzbar, da in der Schleife nur jeweils ein Objekte zugreifbar ist

## Photorealismus

- Ziel: Abbilden der Realität



[NVIDIA 2011]



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

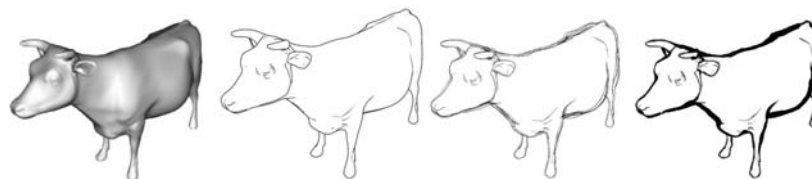
Kapitel 1:  
Einführung

Aus der Galerie der Embree Ray Tracing Website  
Quelle: <http://embree.github.io/>

47

## Nicht-Photorealismus

- Ziel: Expressive Darstellung



[Suggestive contour line drawings, DeCarlo 2003]



Timo Ropinski (FG VisCom)  
Computergrafik I (WS14/15)

Kapitel 1:  
Einführung

48

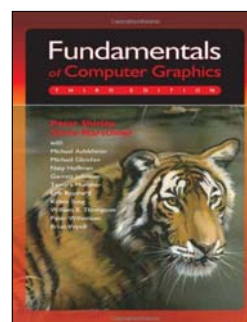


## 1.6 Weiterführende Literatur

Zugrundeliegende und ergänzende Quellen

## Literatur

- P. Shirley, M. Ashikhmin, S. Marschner: Fundamentals of Computer Graphics (3. Auflage), AK Peters 2009.
  - Kapitel 1: Introduction
  - Kapitel 3: Raster Images



## Ergänzende Ressourcen

- Tafelbilder
  - RGB Farbwürfel
  - HLS Farbkegel
  - Normalenberechnung über Kreuzprodukt  
(für ein Dreieck, unter Einbezug der Nachbarn)
- YouTube Videos
  - Spacewar! (MIT 1962)
  - Simulation of a two-gyro gravity attitude control system - Edward Zajac
  - Sketchpad
  - Ivan Sutherland - Head Mounted Display
  - Quest: A Long Ray's Journey Into Light