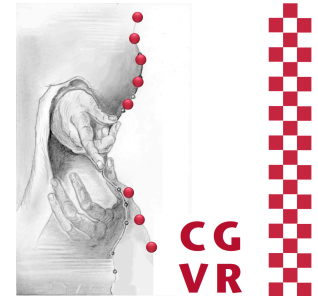
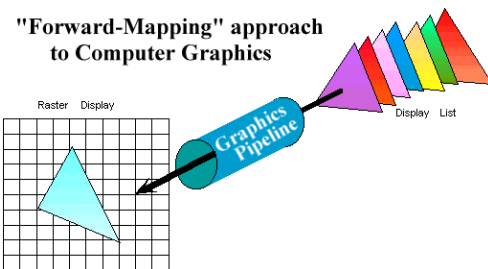


Bremen



# Computergraphik I

## Die Graphik-Pipeline



G. Zachmann

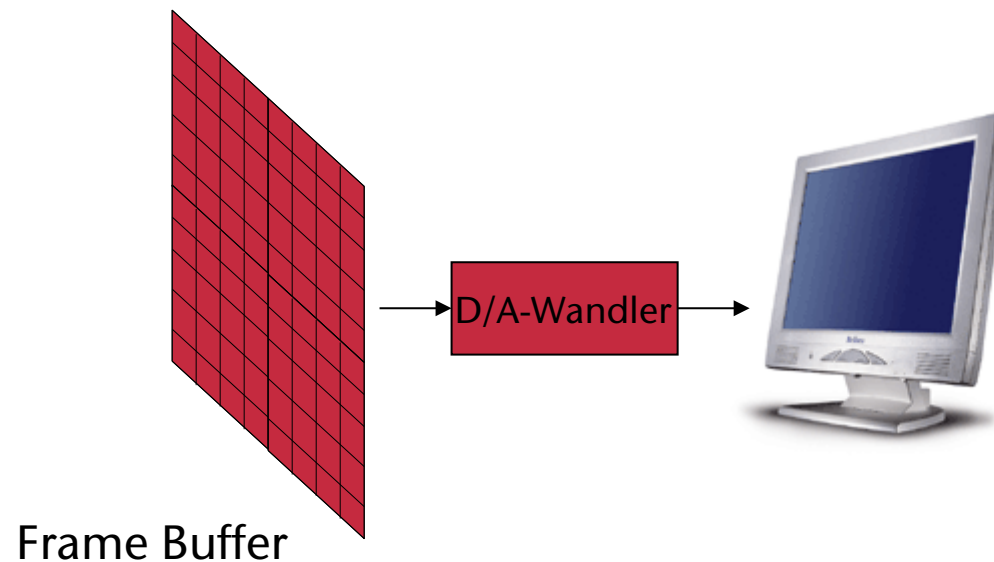
University of Bremen, Germany

[cgvr.informatik.uni-bremen.de](http://cgvr.informatik.uni-bremen.de)

- Alle Geometrie wird aus folgenden **graphischen Primitiven** zusammengesetzt:
  - Punkte
  - Einzelne Strecken (= "Geraden" oder "Linien")
    - Linienzug (= Folge von zusammenhängenden Linien)
  - Dreiecke (evtl. konvexe Polygone)
  - Buchstaben (vordefinierte Zeichen)
- Das sind alle!
  - Kurven? → werden aus einer Folge von Linien approximiert
  - Allgemeine Polygone? → werden i.A. in Dreiecke unterteilt
  - Gekrümmte Flächen? → werden i.A. durch Dreiecke approximiert
- Der Trend geht in Richtung einfacher Primitive
  - Einfach, einheitlich, sich oft wiederholend: gut für Parallel-Verarbeitung

# Der Output: ein Array von Farbwerten

- Auf der Graphikkarte haben wir einen eigenen Bildspeicher
- Hier schreiben wir letzten Endes einzelne Pixel
- Ein Digital/Analog-Wandler liest diesen periodisch aus und wandelt den Inhalt in das Bildsignal für den Monitor um
- Typisches Format: 3 Bytes pro Pixel (r,g,b)

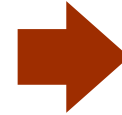


# "A Trip Down the Graphics Pipeline"



## ■ Input:

- Geometric model: description of all objects, surfaces,
- Transformations
- Lighting model: Computational description of object and light properties, interaction (reflection)
- Synthetic Viewpoint (or Camera): Eye position and viewing frustum
- Raster Viewport (Frame Buffer): Pixel grid onto which image plane is mapped



Model-to-World Transformation

Illumination (Shading)

Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)

Clipping

Projection (in Screen Space)

Scan Conversion (Rasterization)



Visibility / Display

## ■ Output:

- Colors / Intensities suitable for framebuffer display (for example, 24 Bits RGB values at each pixel)

Hier sind wir (Programmierer)



**APPLICATION**

**COMMAND STREAM**

3D Transformation, Shading



**GEOMETRY PROCESSING**

**TRANSFORMED GEOMETRY**

Konvertierung der Primitive in Pixel



**RASTERIZATION**

**FRAGMENTS**

Blending, Pixel Tests, (Shading)



**FRAGMENT PROCESSING**

**FRAMEBUFFER IMAGE**

Ausgabe auf dem Bildschirm

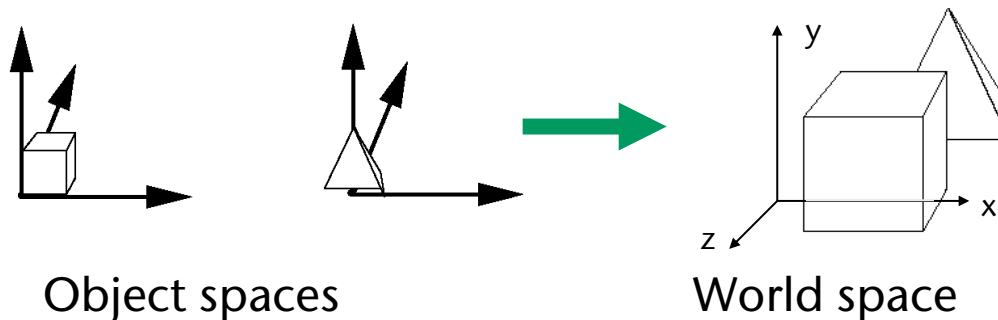


**DISPLAY**



# Model Transformation (model-to-world)

- 3D Modell wird im eigenen Koordinatensystem definiert (**object space**)
- **Model Transformation** positioniert die Objekte in einem allg. Koordinatensystem (**world space**)



Model Transformation

Illumination (Shading)

Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)

Clipping

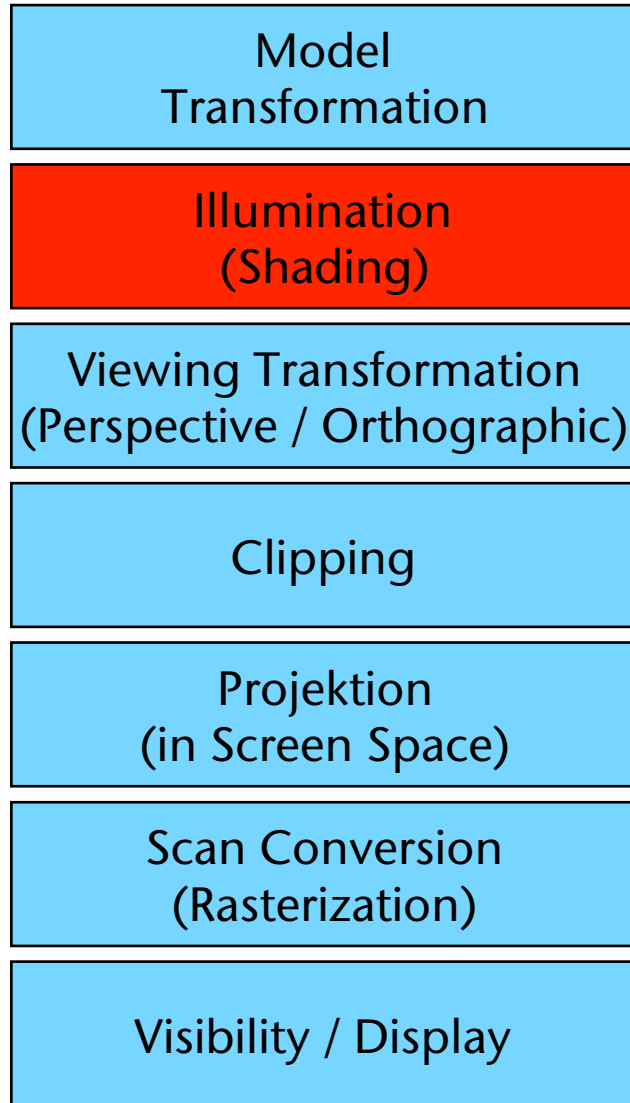
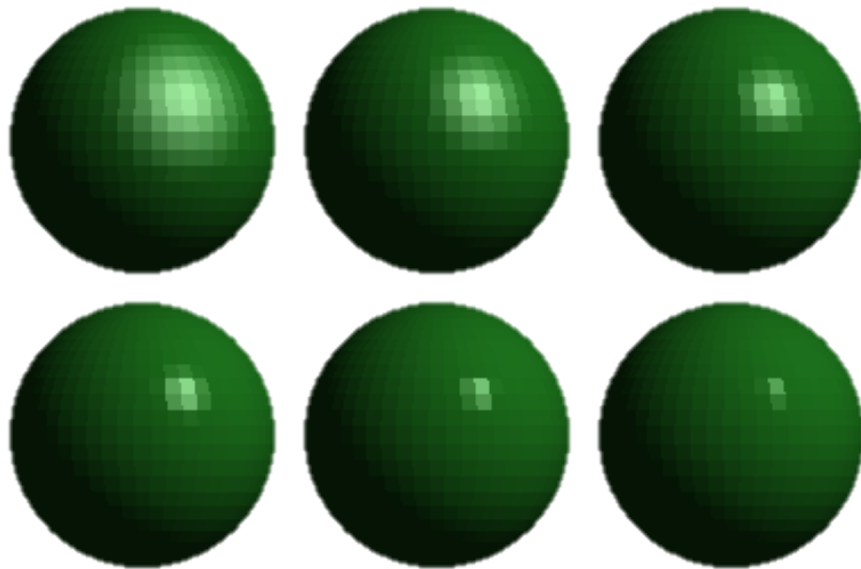
Projection (in Screen Space)

Scan Conversion (Rasterization)

Visibility / Display

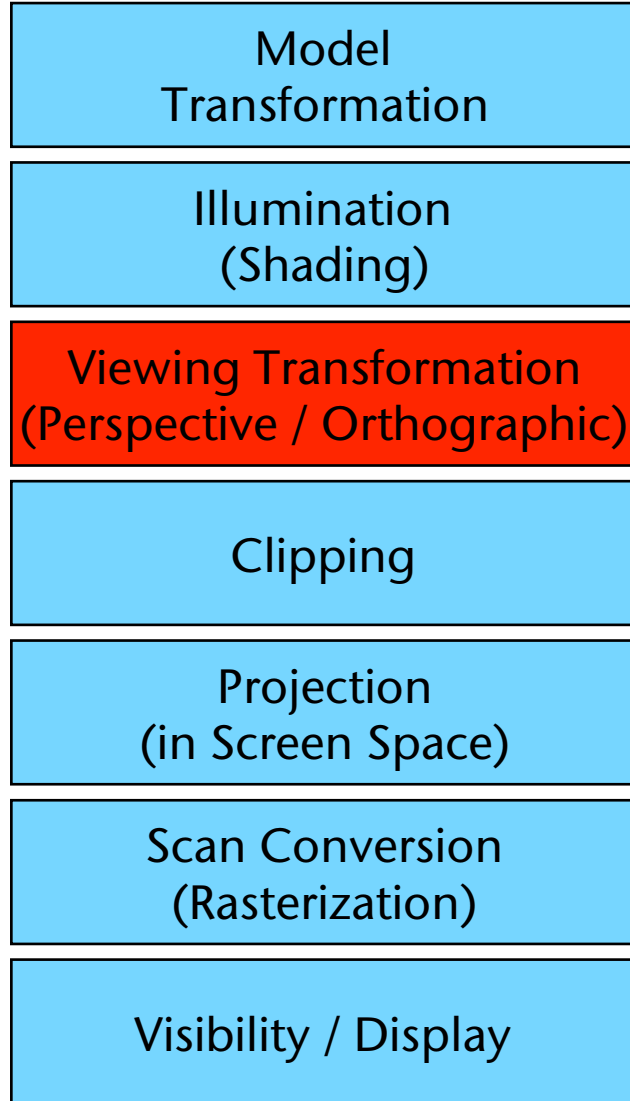
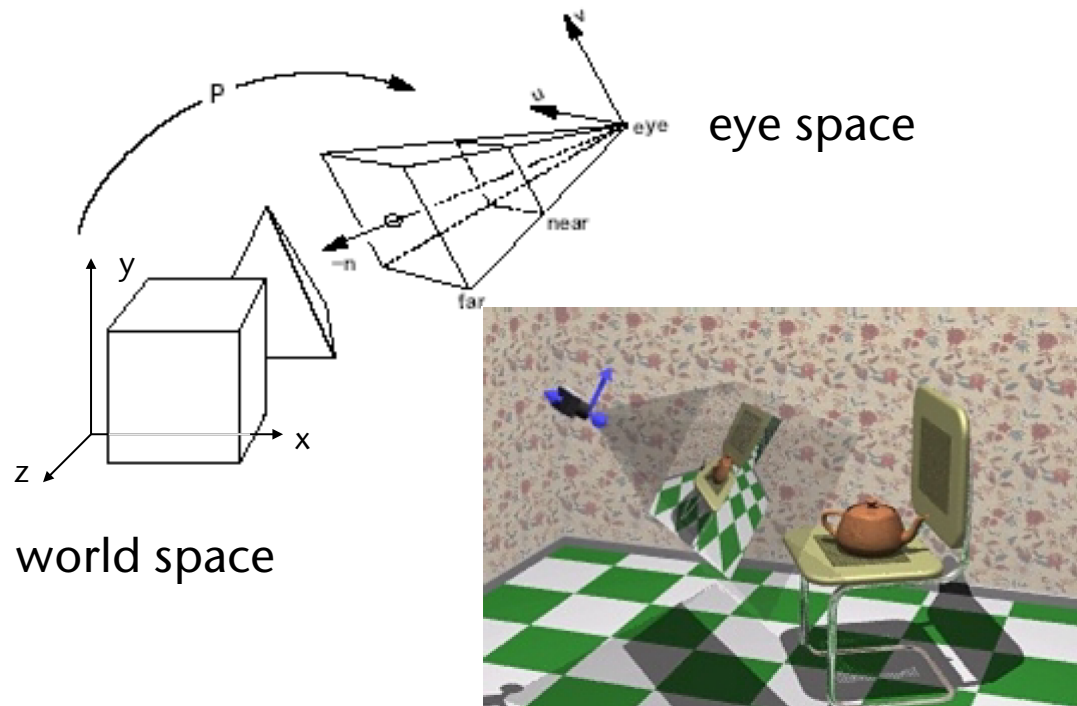
# Illumination (Beleuchtung, Schattierung)

- **Beleuchten** von Dreiecken (für Schattierung und Highlights) gemäß der Material-Eigenschaften, Oberflächeneigenschaften und Lichtquellen
- Lokale **Beleuchtungsmodelle** (Diffuse, Ambient, Phong, etc.)



# Viewing Transformation

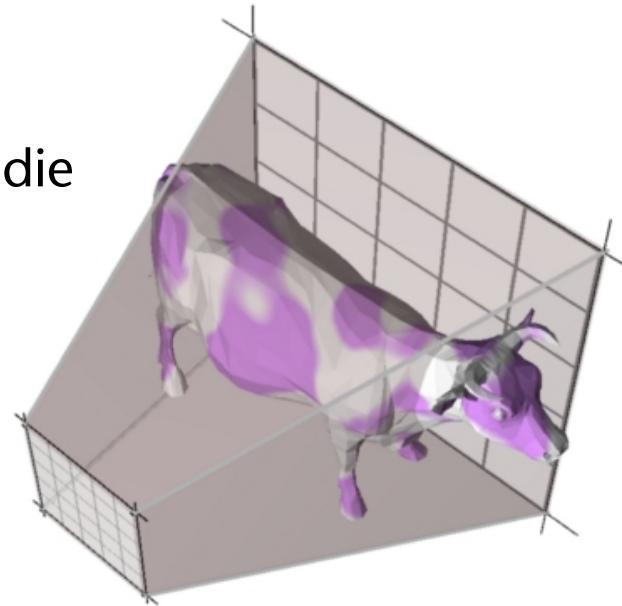
- Umwandeln von **Welt-Koord.** nach **Kamera-Koord.**
- Bestimme Transformation für komplette Szene so, daß Betrachter-Position in den Ursprung verschoben wird und Blickrichtung entlang (-Z)-Achse ist



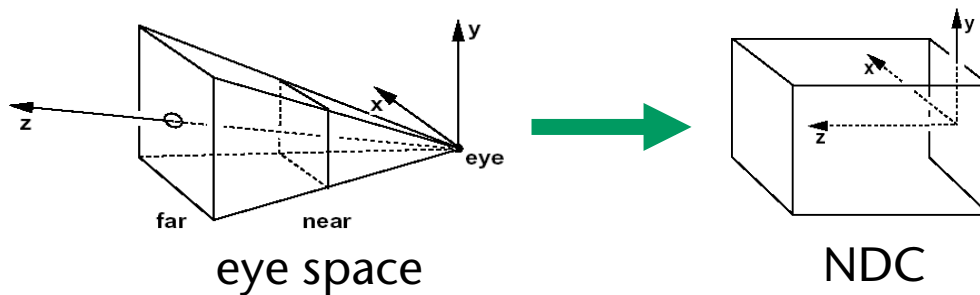


# Clipping

- Abschneiden der Polygone, die außerhalb des sichtbaren Bereiches liegen (*view frustum*)



- Transformiere Szene in **normalisierte Koordinaten (NDC)**



Modell Transformation

Illumination (Shading)

Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)

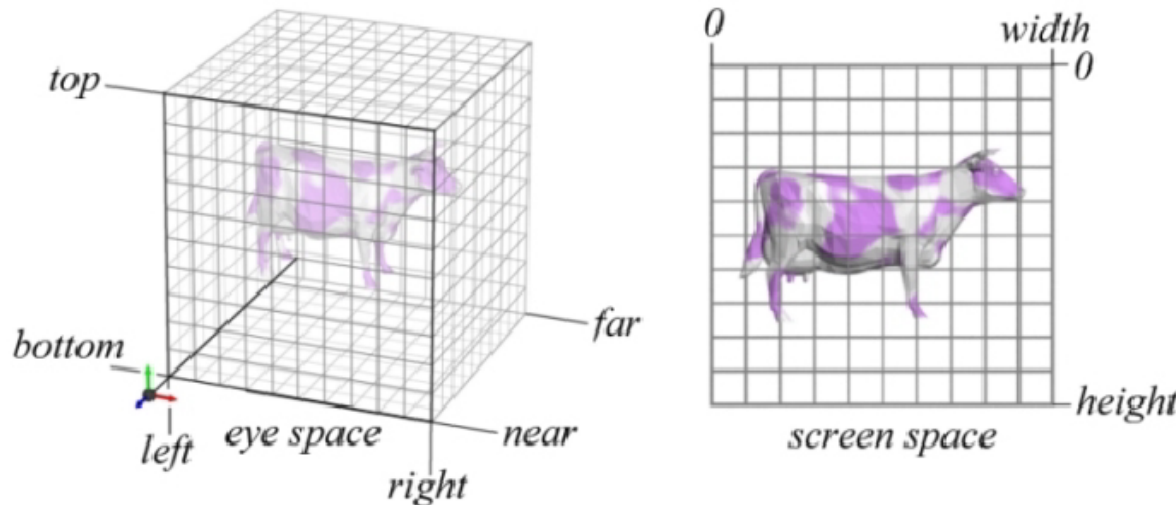
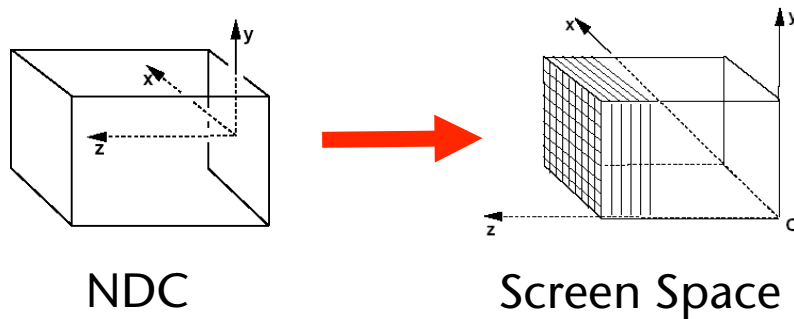
Clipping

Projektion (in Screen Space)

Scan Conversion (Rasterization)

Visibility / Display

- Das Objekt wird in ein 2D Bild umgewandelt (*screen space*) projiziert



Modell Transformation

Illumination (Shading)

Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)

Clipping

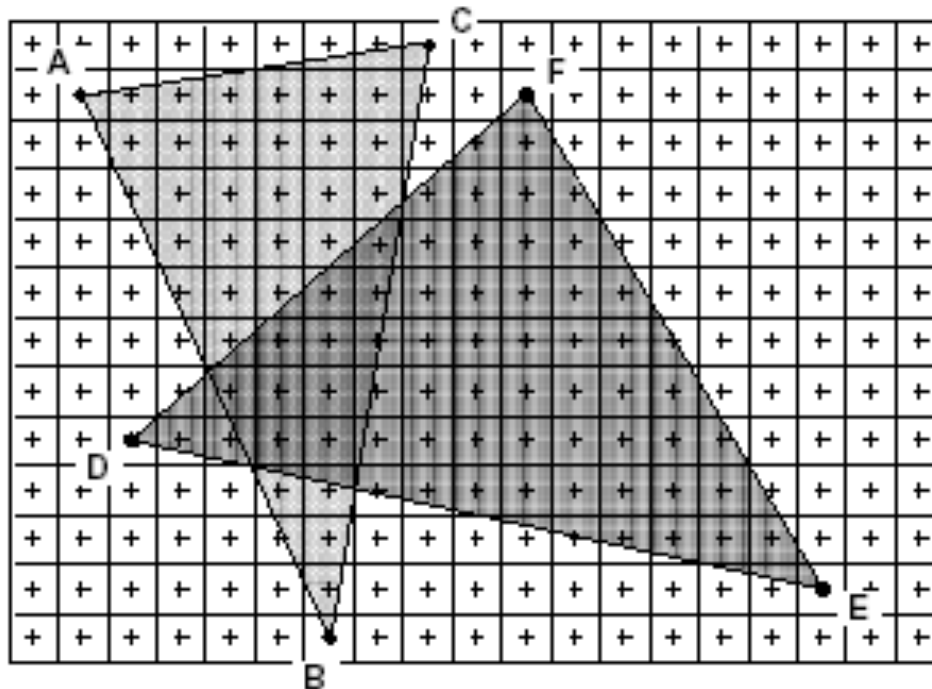
Projection (in Screen Space)

Scan Conversion (Rasterization)

Visibility / Display

# Scan Conversion (Rasterisierung)

- Rasterisierung der Polygone in Pixel
- Ecken-Werte interpolieren (Farbe, Tiefenwert, ...)



Modell  
Transformation

Illumination  
(Shading)

Viewing Transformation  
(Perspective / Orthographic)

Clipping

Projektion  
(in Screen Space)

Scan Conversion  
(Rasterization)

Visibility / Display

- Verdeckungen bestimmen
- Evtl. weitere Pixel-Operationen:
  - Blending mit vorhandenem Frame-Buffer-Inhalt
  - Maskierung (z.B. wegen Verdeckung durch andere Fenster)
  - Farb-Transfer

