



UNIVERSITÄT  
LEIPZIG

Polygonale Repräsentation

**COMPUTERGRAPHIK**



---

# Inhaltsverzeichnis

## 4. Polygonale Repräsentation

4.1 Einleitung

4.2 Polygonale Repräsentation

4.3 Level-of-Detail Ansätze

## 4.1 Überblick

### Ziel dreidimensionaler Computergraphik

- Erzeugung (zweidimensionaler) Darstellungen einer Szene oder eines Objektes ausgehend von Beschreibungen oder Modellen
- Die Art und die Verwendung der Computer-internen Repräsentation eines Objektes hängt dabei von vielen Einflussfaktoren ab

# 4.1 Überblick

## Einflussfaktoren

- Das Objekt kann real oder nur in der Computerdarstellung existieren
- Die Erstellung des Objektes ist eng mit seiner Visualisierung verknüpft (Interaktive CAD-Systeme)
  - Modellierung und Visualisierung als Werkzeuge beim Herstellungsprozess
  - Visualisierung
    - 2D
    - 3D
  - Herstellung
    - 3D Drucker
    - Ansteuerung einer Fräse
- Genauigkeit
  - **exakte** Beschreibung von Geometrie und Form in CAD-Applikationen
  - für einen Renderer **ausreichende approximative** Beschreibung
  - Bei interaktiven Anwendungen können für ein Objekt
    - gleichzeitig **mehrere interne** Repräsentationen existieren
    - Repräsentationen bei Bedarf **dynamisch erzeugt** werden

⇒ Level-of-Detail (LOD) Verfahren

## 4.1 Überblick

### Aspekte von Modellierung und Repräsentation

- Erzeugung von 3D Geometriedaten
  - CAD-Interface
  - Laser-Scanner (Reverse Eng.)
  - Analytische Techniken (z.B. Sweeping)
  - Bild (2D) - und Video (3D) -Analyse
- Repräsentation
  - Effizienter Zugriff
  - Konvertierung
- Repräsentationen
  - Polygonnetze (für Rendering am Häufigsten genutzt)
  - Finite Elemente (FEM)
  - Constructive Solid Geometry (CSG)
  - B-Rep. („Boundary-Representation“ für CAD-Modelle)
  - Implizit (Isoflächen)
  - Surface Elements (Surfels = Punkte & Normalen)

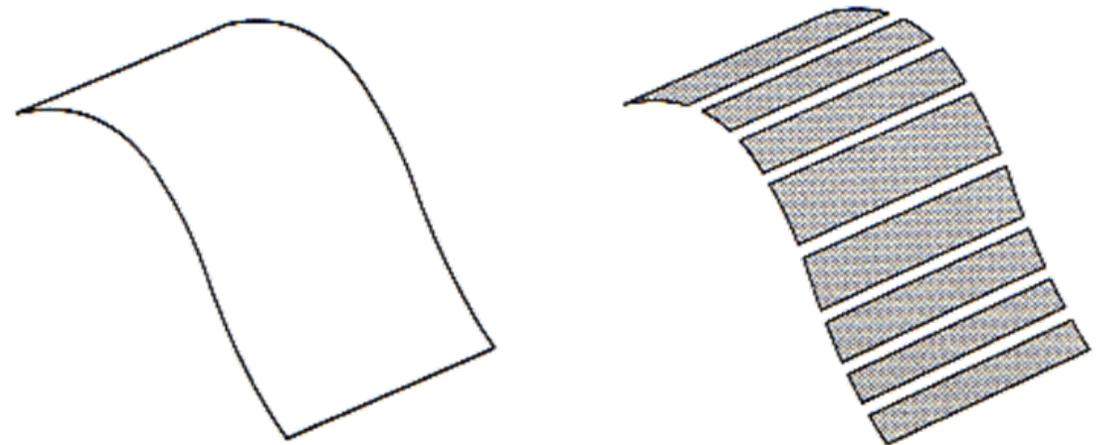
## 4.1 Überblick

### Aspekte von Modellierung und Repräsentation

- Manipulation: Formänderung der Objekte (Editing)
  - boolesche Operationen
  - lokale Glättung
  - Interpolation bestimmter Features (Randkurven)
  - „Eingravieren“ geometrischer Details

## 4.2 Polygonale Repräsentation

- Ein Objekt wird durch ein Netz polygonaler Facetten (oft Dreiecke) repräsentiert  
⇒ stückweise lineare Approximation
- Die polygonalen Facetten stellen im Allgemeinen eine Approximation gekrümmter Flächen dar, welche das Objekt begrenzen
- Klassische Repräsentationsform dreidimensionaler Objekte in der Computergraphik



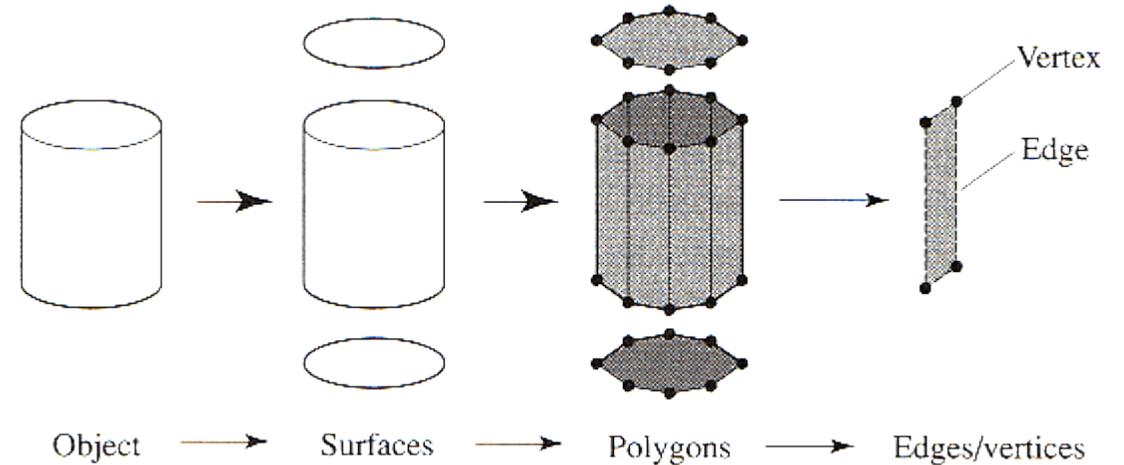
## 4.2 Polygonale Repräsentation

- Genauigkeit der Approximation kann gewählt werden
  - Anzahl der Polygone
  - Größe der Polygone
- Fragen
  - Welche Polygonauflösung benötigt man für eine genaue Darstellung?
  - Welche Polygonauflösung benötigt ein Renderer, um die stückweise lineare Approximation glatt erscheinen zu lassen?
  - Wie ist der Zusammenhang zwischen Polygonanzahl des Objektes und seiner Größe in der finalen Darstellung?
    - oft verwendete Grundregel: Polygonauflösung an die lokale Krümmung der Fläche binden

## 4.2 Polygonale Repräsentation

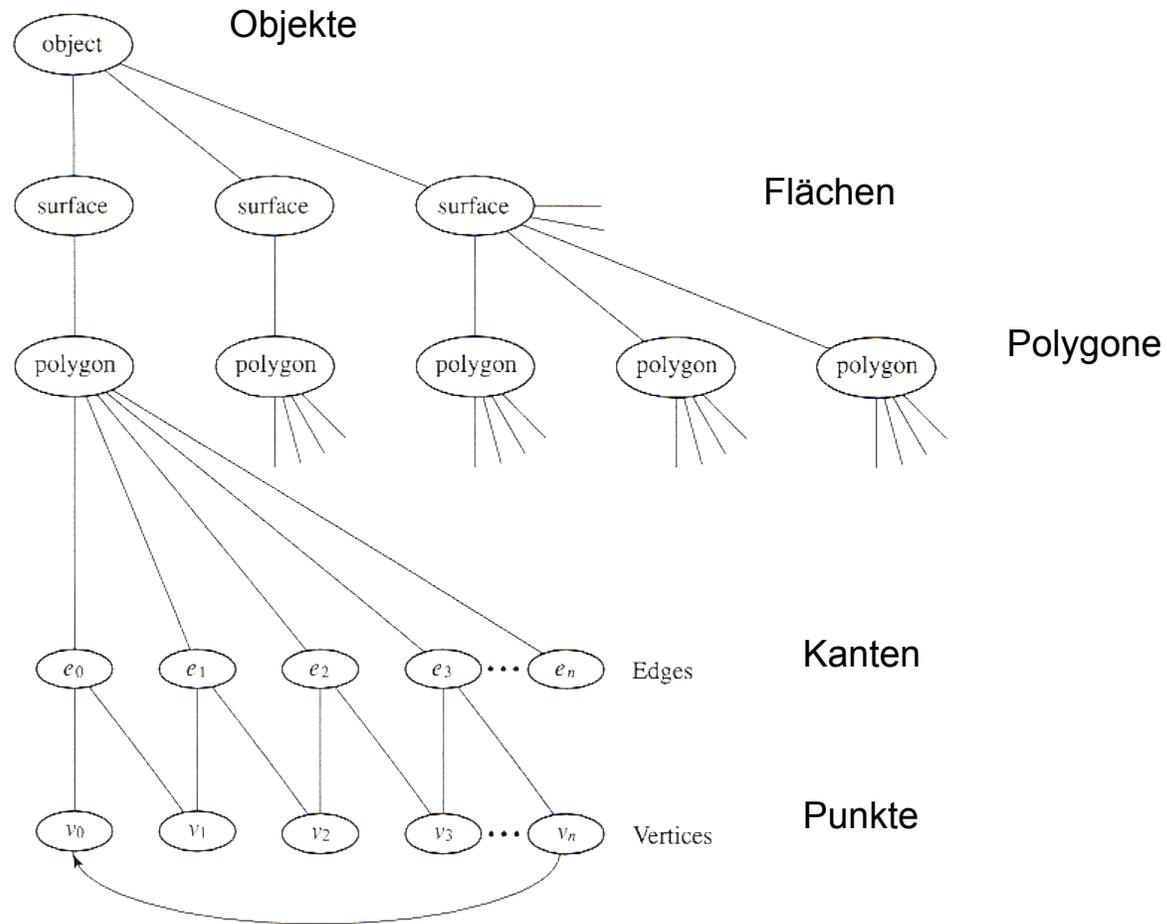
### Repräsentationshierarchie (konzeptionell)

- Objekt setzt sich aus Oberflächen zusammen
- Oberfläche setzt sich aus Polygonen zusammen
- Polygon besteht aus
  - Eckpunkten (vertices)
  - Kanten (edges)



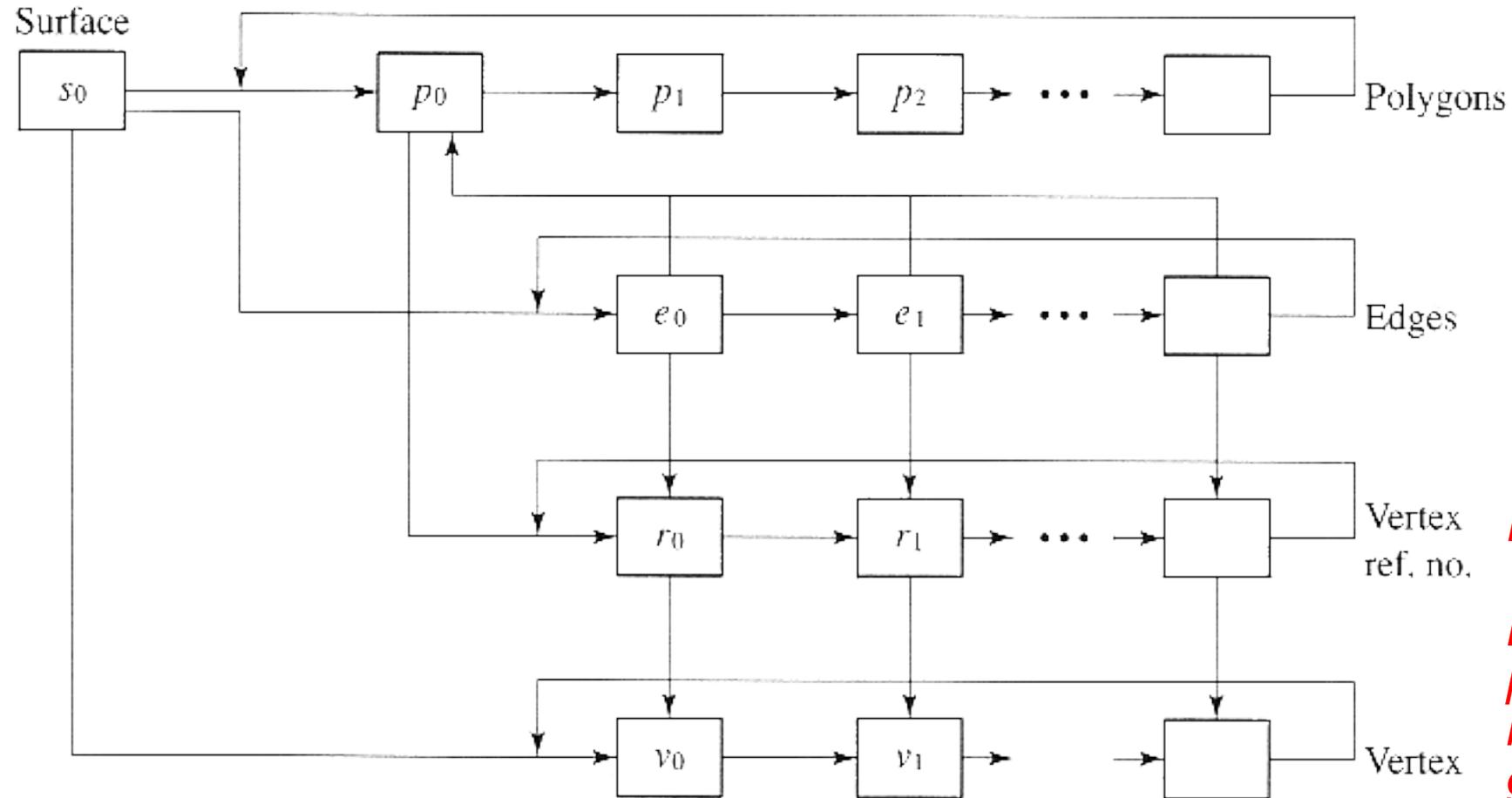
# 4.2 Polygonale Repräsentation

## Repräsentationshierarchie (topologisch)



## 4.2 Polygonale Repräsentation

### Repräsentationshierarchie (Datenstruktur)



*Indizes auf Eckpunkte*

*Eckpunkte werden  
pro Oberfläche  
nur einmal  
gespeichert!*

## 4.2 Polygonale Repräsentation

### Kanten

- Offensichtlich existieren in der approximierenden polygonalen Darstellung zwei Arten von Kanten:
  - Scharfe Kanten (Feature Lines)
    - ⇒ diese sollen als Kanten sichtbar bleiben
  - virtuelle Kanten (im Inneren glatter Flächen)
    - ⇒ diese sollte der Renderer „verschwinden“ lassen
- 70er Jahre:  
Schattierungsalgorithmen (Interpolative Shading)
  - Flat/Uniform
  - Gouraud
  - Phong Shading

## 4.2 Polygonale Repräsentation

### Datenstruktur

Kann neben der Geometrie spezielle Attribute für Anwendungen und Rendering beinhalten

- Flächenattribute:
  - Repräsentation (Dreieck, Polygon, Freiformfläche)
  - Koeffizienten
  - Polygonnormalen
  - Eigenschaften: planar, konvex, „hat Löcher“
  - Verweis auf Eckpunkte (und ggf. Kanten)
- Kantenattribute:
  - Länge
  - Art: Randkante, Feature Line, virtuelle Kante
  - ggf. Verweis auf zugehörige Polygone und Eckpunkte
- Eckpunktattribute:
  - Eckpunktnormale (gemittelte Polygonnormalen)
  - Farbe
  - Texturkoordinaten
  - ggf. Verweis auf Polygone und Kanten

## 4.2 Polygonale Repräsentation

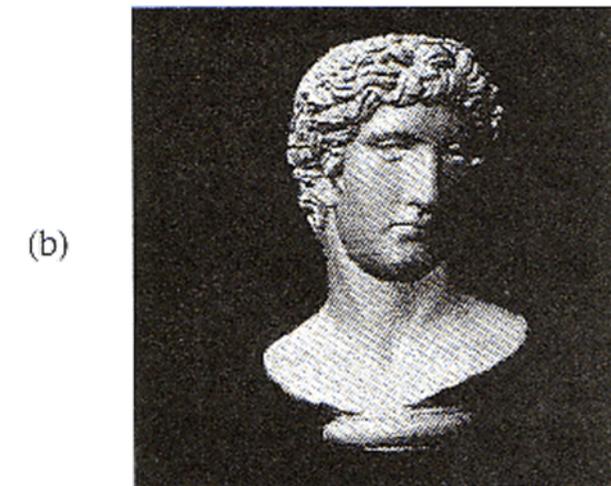
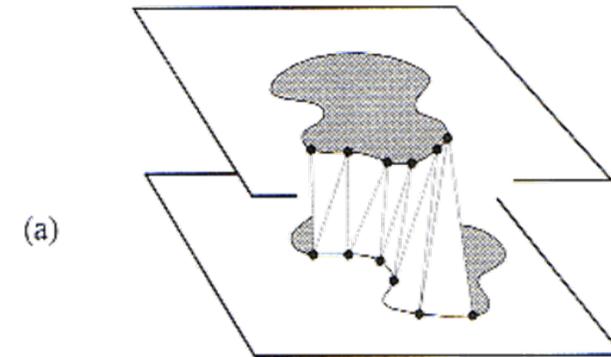
Erzeugung polygonaler Objekte: manuelle Verfahren

- Verschieben von (Gruppen von) Eckpunkten mittels dreidimensionaler Eingabegeräte oder Schnittstellen
  - komplex, schwer handhabbar
  - nur für einfache Objekte bzw. für einfache „Manipulationen“ geeignet
- 3D-Digitizer
  - manuelles Anbringen von Punkten auf Objekten, die mittels Digitalisierer zu Polygon-Eckpunkten werden sollen
  - Beispiel:  
Netze über Objektflächen „ziehen“  
⇒ erste 3D-Darstellungen von Karosserien (1974)

## 4.2 Polygonale Repräsentation

### Erzeugung polygonaler Objekte: automatische Verfahren

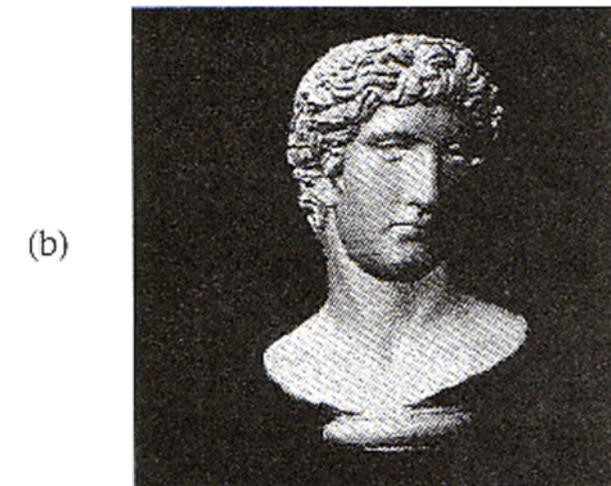
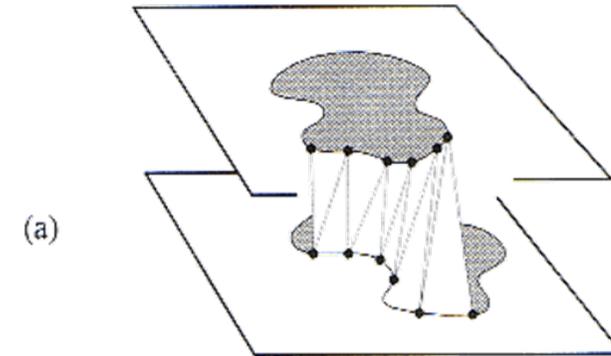
- Laserscanner
  - Objekt wird rundherum scheinchenweise mit einem Laserstrahl abgetastet; dieser misst den Abstand zur Objektoberfläche
  - Aus den gemessenen 2D-Konturen werden mittels eines „skinning“-Algorithmus, der geeignet benachbarte Punkte verbindet, Dreiecksflächen erzeugt (Abb. (a))



## 4.2 Polygonale Repräsentation

### Erzeugung polygonaler Objekte: automatische Verfahren

- Laserscanner
  - Anwendungen:
    - Reverse Engineering
    - Virtuelle Bekleidung
    - etc.
  - Probleme:
    - Ist das Objekt stellenweise „zu konkav“, gibt es Flächen, die vom Laserstrahl nicht erfasst werden können
    - Dieser Ansatz tendiert dazu, (zu) viele Dreiecke zu erzeugen!  
(Abb. (b): 400.000 Dreiecke)



## 4.2 Polygonale Repräsentation

Erzeugung polygonaler Objekte: mathematische Verfahren

- Erzeugung von polygonalen Darstellungen aus analytischen Kurven und Flächen  
⇒ CAD-Anwendungen
- Vorteile:
  - Benutzer arbeitet mit high-level Objektbeschreibung
  - Objektform ist direkt mit mathematisch exakter Objektbeschreibung gekoppelt
- Beispiele:
  - Parameterflächen (stückweise Polynome)
  - Rotationsflächen
  - Sweep-Flächen

## 4.2 Polygonale Repräsentation

Erzeugung polygonaler Objekte: prozedurale Verfahren

- Erzeugung polygonaler Objekte durch Fraktale
  - Fraktale (Fractals) gehen in ihrem theoretischen Ansatz auf die Mandelbrot-Geometrie zurück
  - Werden u. a. für die Modellierungen von geographischen Höhenfeldern (Terrain Models) eingesetzt
  - Fraktale finden aufgrund ihrer Effizienz z.B. Anwendung in professionellen Flugsimulatoren für das Pilotentraining
- Erzeugung polygonaler Objekte durch Ersetzungssysteme, z. B. Grammatiken
  - Lindenmayer-/L-Systeme zur Beschreibung von biologischen Entwicklungen
  - Werden u. a. für die Modellierungen von Bäumen, Pflanzen, etc. eingesetzt

## 4.3 Level-of-detail Ansätze

- Motivation
  - Allgemein tendieren Verfahren zur Erzeugung polygonaler Modelle dazu, „zu viele“ Polygone zu produzieren
- Probleme
  - In den überwiegenden Fällen ist das Verhältnis (Polygonanzahl des Objektes) / (projizierte Fläche des Objekts) viel zu groß
  - Overhead bei der Speicherung, Übertragung, Bearbeitung und Visualisierung „unnötiger“ Polygone
- Lösung
  - Verschiedene polygonale Auflösungen der Objektrepräsentation: Level of Detail (LOD)
  - Diese werden als sogenannte „Detail Pyramid“ / Multiresolutionrepräsentation verwaltet

## 4.3 Level-of-detail Ansätze

- Diskrete LODs, Pyramide mit verschiedenen Netzen abhängig von der Entfernung
  - popping
- Kontinuierliche LODs, Vordefinierte Einzeloperationen, die Kante fuer Kante entfernen
  - flexibel
  - teurer
  - kann minimales Modell finden
  - blickpunktabhängige Modelle moeglich
- Statische LODs  
Feste, vordefinierte Auflösungsstufen
  - kosten Speicher
- Dynamische LODs  
Online Berechnung
  - kosten Rechenzeit

# Quellen

- Computergraphik, Universität Leipzig (Prof. Dr. D. Bartz)
- Graphische Datenverarbeitung I, Universität Tübingen (Prof. Dr. W. Straßer)
- Graphische Datenverarbeitung I, TU Darmstadt (Prof. Dr. M. Alexa)