Inhaltsverzeichnis

Weitere Themen: Netze, Fraktale, Animation, ...

3.1 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 an vielen Einflussfaktoren:
  - Das Objekt kann real oder nur in der Computerdarstellung existieren.
  - Die Herstellung des Objektes ist eng mit seiner Visualisierung verknüpft.
    - ➔ Interaktive CAD-Systeme
    - ➔ Modellierung und Visualisierung als Werkzeuge beim Herstellungsprozess
    - ➔ Mehr als 2D-Output möglich!

Einflussfaktoren (Fortsetzung)

- Die Genauigkeit der computerinternen Repräsentation orientiert sich an der Anwendung:
  z. B. **exakte Beschreibung** von Geometrie und Form in CAD-Applikationen vs. einer für einen Renderer **ausreichenden approximativen** Beschreibung.
- Bei interaktiven Anwendungen existieren für ein Objekt oft sogar gleichzeitig **mehrere interne Repräsentationen** oder werden je nach Bedarf **dynamisch erzeugt**.
  $\Rightarrow$ LOD (Level-of-Detail) Verfahren

3.1 Überblick

Die Modellierung und Repräsentation von Objekten betrifft insbesondere die folgenden Aspekte

- Erzeugung von 3D **Geometrie**daten
- CAD-Interface, Digitizer, Laser-Scanner (Reverse Eng.), analytische Techniken (z.B. Sweeping), Bild- (2D) und Video(3D)-Analyse
- Repräsentation, effizienter Zugriff und Konvertierung
- Polygonnetze (z.B. Triangulierung) häufigste Repräsentation für Rendering.
  Andere Darstellungen: Finite Elemente (FEM), Constructive Solid Geometry (CSG), B-Rep. („Boundary-Representation“ für CAD-Modelle), implizit (Isoflächen), Surface Elements (Surfels = Punkte + Normalen), etc.
- Manipulation $\Rightarrow$ Formänderung der Objekte (Editing)
  z.B. boolesche Operationen, lokale Glättung, Interpolation bestimmter Features (Randkurven), „Eingravieren“ geometrischer Details, etc.

3.1 Überblick

Im Folgenden

3.2 Polygonaler Repräsentation dreidimensionaler Objekte

3.3 CSG-Repräsentation von Objekten

3.4 Raumteilungsverfahren für die Objektrepräsentation

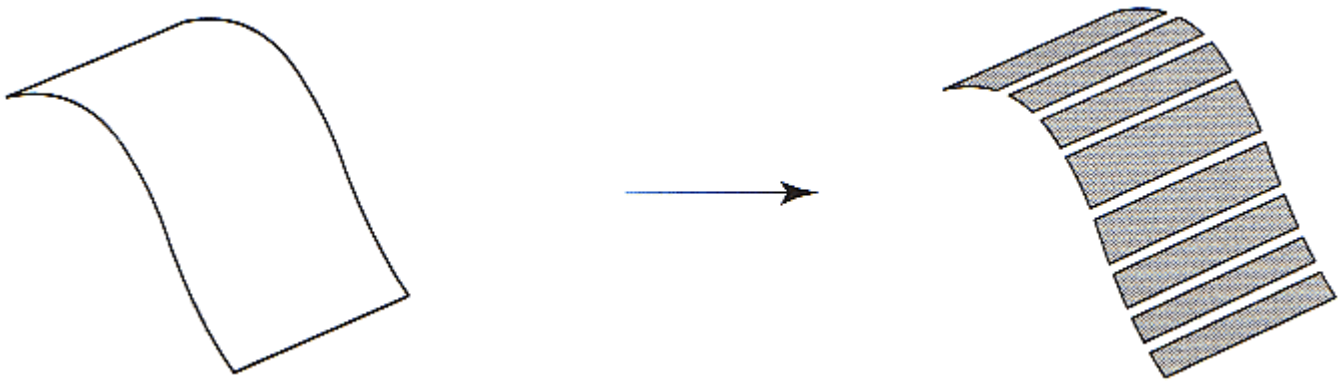
3.5 Objektrepräsentation mittels impliziter Funktionen

3.6 Szenenmanagement

3.2 Polygonale Repräsentation

Eigenschaften/Merkmale

- klassische Repräsentationsform dreidimensionaler Objekte in der Computergraphik
- Objekt wird durch ein **Netz polygonaler Facetten** (oft Dreiecke) repräsentiert $\Rightarrow$ stückweise lineare Approximation.
- Die polygonalen Facetten stellen i. A. eine Approximation gekrümmter Flächen dar, die das Objekt begrenzen.



Eigenschaften/Merkmale (Fortsetzung)

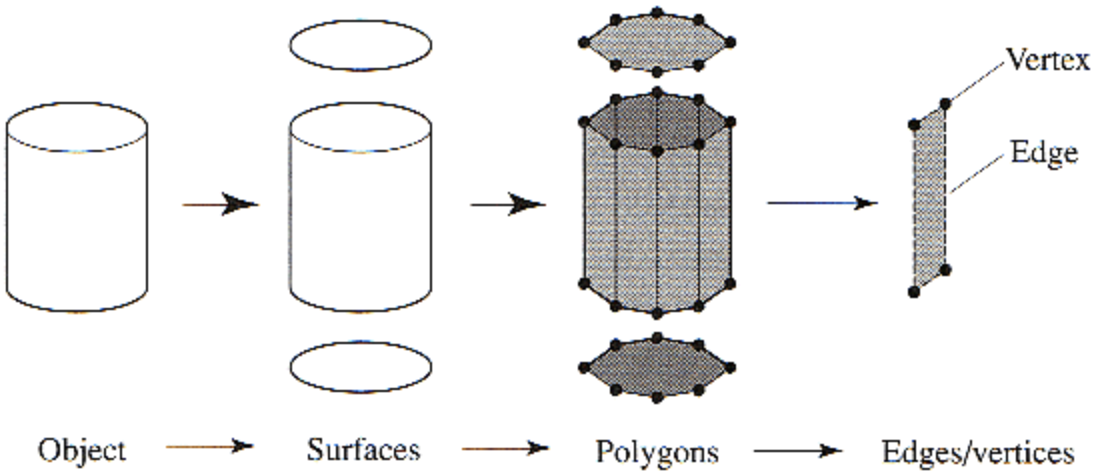
Genauigkeit der Approximation (Anzahl und Größe der Polygone) kann gewählt werden, wirft aber oft Fragen und extreme Probleme auf, zB.:

- Welche Polygonauflösung benötigt man für **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?

  $\Rightarrow$ oft verwendete Grundregel: Polygonauflösung an die **lokale Krümmung der Fläche** binden

Repräsentationshierarchie

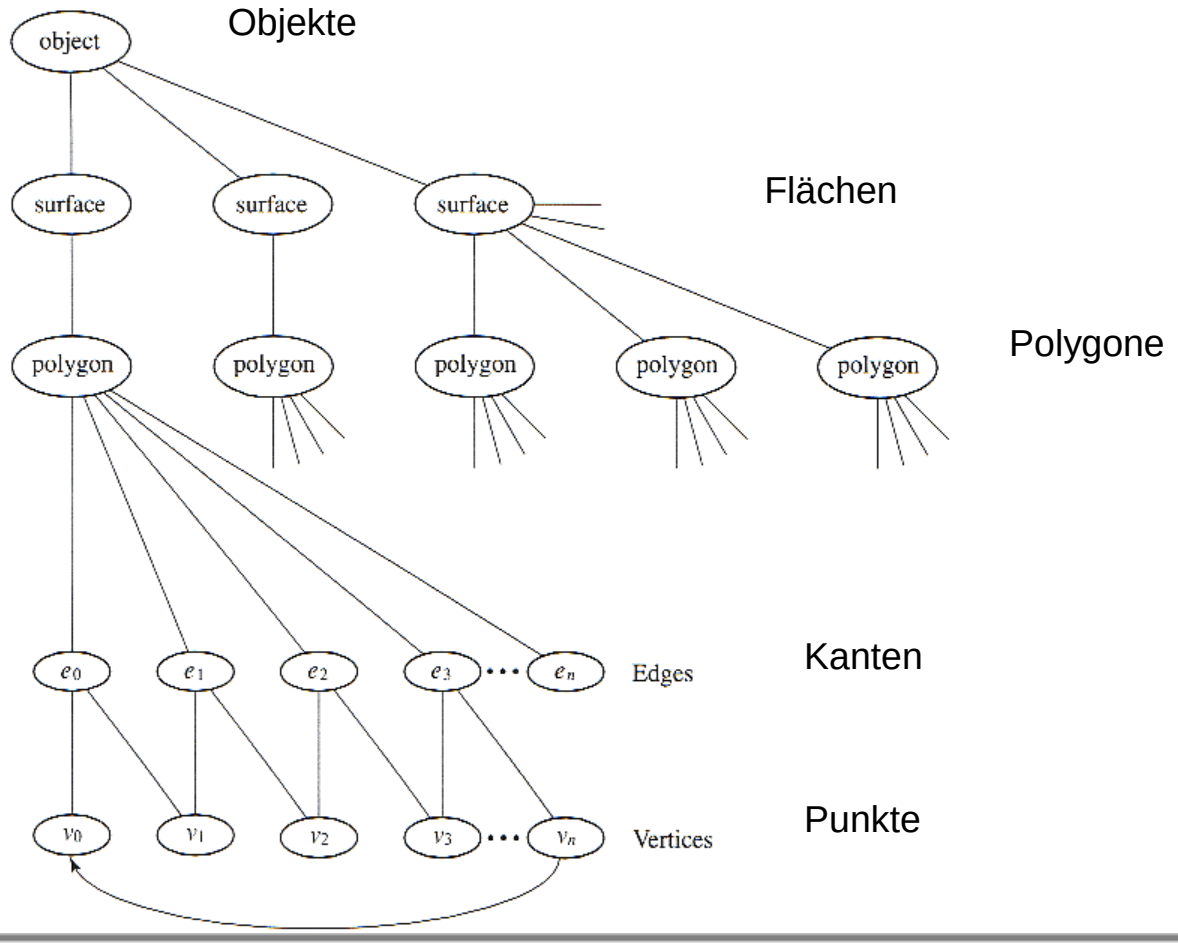
- **Konzeptuell**
  - Objekt setzt sich aus Oberflächen zusammen.
  - Oberfläche setzt sich aus Polygonen zusammen.
  - Polygon besteht aus Eckpunkten (vertices) und Kanten (edges).



3.2 Polygonale Repräsentation

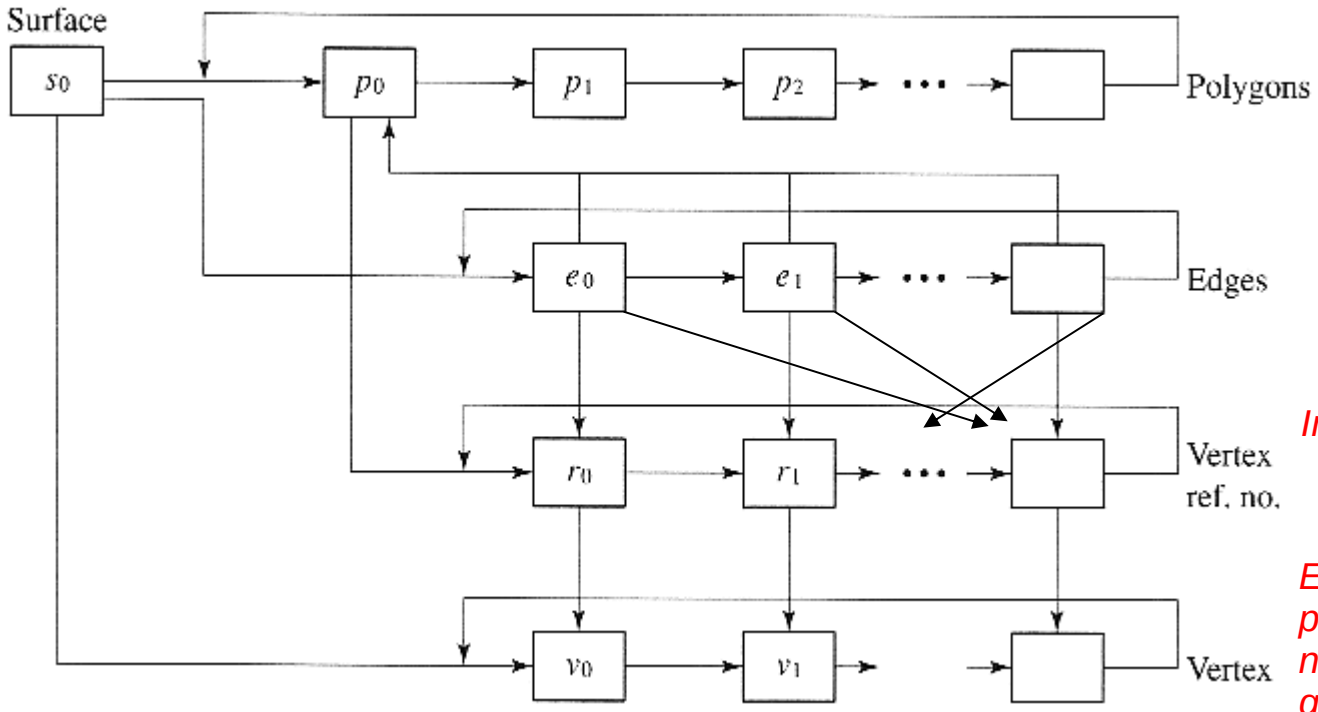
Repräsentationshierarchie

- **Topologisch**



Repräsentationshierarchie

- Datenstruktur



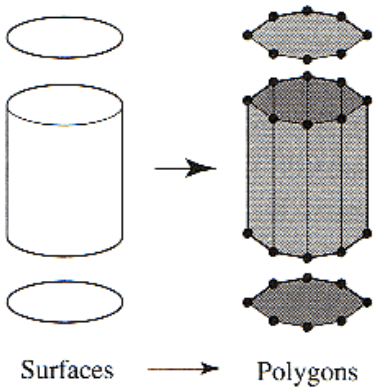
Indizes auf Eckpunkte

Eckpunkte werden pro Oberfläche nur einmal gespeichert!

Bemerkung zu Kanten

- Offensichtlich existieren in der approximierenden polygonalen Darstellung zwei Arten von Kanten:
  - Scharfe Kanten (Feature Lines)
    $\Rightarrow$ diese sollen als Kanten sichtbar bleiben
  - virtuelle Kanten (im Inneren glatter Flächen)
    $\Rightarrow$ diese sollte der Renderer „verschwinden“ lassen (HSR)
- 70er Jahre: Schattierungsalgorithmen (Interpolative Shading Algorithms)

  $\Rightarrow$ Flat/Uniform, Gouraud, Phong Shading
- Die Art der Kanten bestimmt in der Datenstruktur z. B. die Mehrfach-speicherung von Ecken und Kanten. (siehe auch Bild)



Bemerkung zu Datenstruktur

Praktische Datenstrukturen beinhalten neben der Geometrie spezielle Attribute für Anwendungen und Rendering:

- 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, Farbe, Texturkoordinaten, ggf. Verweis auf Polygone und Kanten

Erzeugung polygonaler Objekte

Manuelle und halbautomatische Verfahren

- „Manuelles“ 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 Digitizer zu Polygon-Eckpunkten werden sollen

  Beispiel: Netze über Objektoberflächen „ziehen“
  ⇒ erste 3D-Darstellungen von Karosserien (1974)

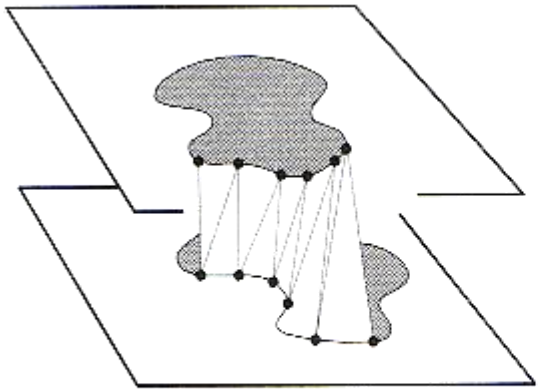
Erzeugung polygonaler Objekte (Fortsetzung)

- Automatische Verfahren
- hier: Laserscanner
  - Objekt wird rundherum scheibchenweise 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))
  - dieser Ansatz tendiert dazu, (zu) viele Dreiecke zu erzeugen! (Abb. (b): 400.000 Dreiecke)
  - Anwendungen: Reverse Engineering, virtuelle Bekleidung, etc.

Erzeugung polygonaler Objekte: (Fortsetzung)

- Automatische Verfahren (Fortsetzung)

(a)



(b)

Problem: Ist das Objekt stellenweise „zu konkav“, gibt es Flächen, die vom Laserstrahl nicht erfasst werden können

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, ...

Erzeugung polygonaler Objekte

Prozedurale Verfahren

- Erzeugung polygonaler Objekte durch **Fraktale**
- Fraktale (Fractals) gehen in ihrem theoretischen Ansatz auf die **Mandelbrot-Geometrie** zurück
- Werden ua. 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

Prozedurale Verfahren

- 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.

3.3 CSG-Repräsentation

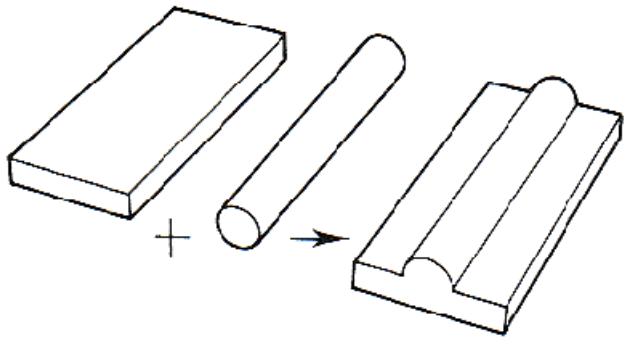
Eigenschaften der Constructive Solid Geometry (CSG)

- Volumenrepräsentation dreidimensionaler Objekte
- Ermöglicht dem Designer die **interaktive Konstruktion**
- Repräsentation komplexer Objekte durch **Zusammensetzen einfacher Grundobjekte** (Primitive) mittels **boolescher Mengenoperationen** und linearer Transformationen
- Geometrische Primitive: Kugel, Kegel, Zylinder, Quader, ...
- Nachteil: Darstellung von CSG-Objekten erfordert spezielle Rendering-Techniken (z.B. Raytracing) oder Umwandlung in eine polygonale Repräsentation (Boundary Evaluation)

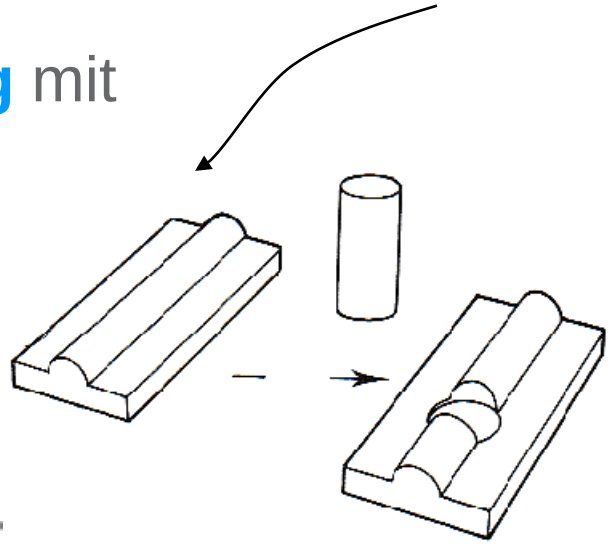
3.3 CSG-Repräsentation

Beispiel: Boolesche Operationen

- **Vereinigung** von Quader und Zylinder ...

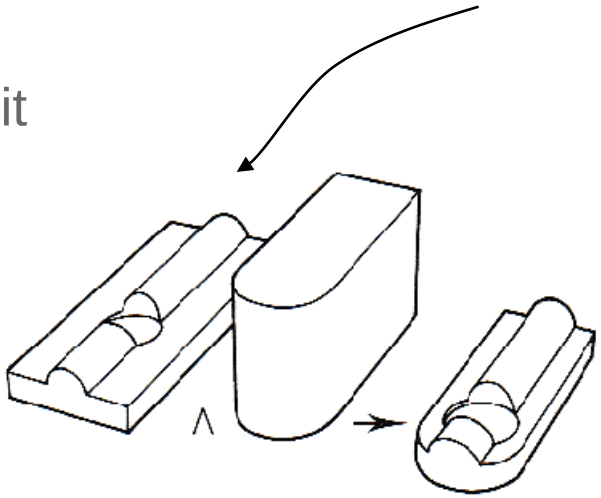


- ... anschließend **Differenzbildung** mit einem weiteren Zylinder ...



Beispiel: Boolesche Operationen (Fortsetzung)

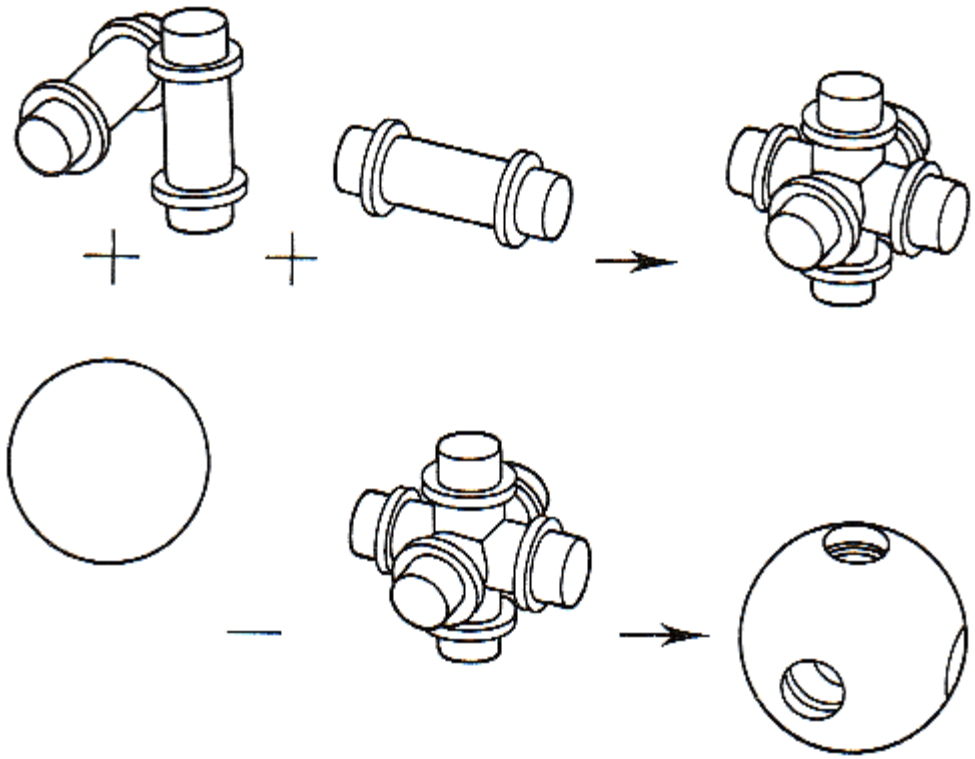
- ... anschließend **Schnitt** mit einem Objekt, das aus der Vereinigung eines Quaders mit einem weiteren Zylinder entstanden ist.



Bemerkung: Ein bestimmtes Objekt kann durch verschiedenste CSG-Operationen definiert werden.
HIER: Schritte 2 und 3 könnten auch vertauscht werden!

- Intern wird eine CSG-Repräsentation durch einen Baum verwaltet
  - Innere Knoten enthalten Information zu verwendenden booleschen Operator und die räumliche Beziehung zwischen ihren Kindern
  - Blätter des Baumes enthalten den Namen eines Primitivs und dessen Dimension/Größe

Beispiel: Konstruktion komplexer Objekte aus Primitiven



3.4 Raumteilungsverfahren

- Auch Space-Subdivision-Techniques
- Bei Repräsentation eines Objekts wird der Objektraum in **einzelne Elemente zerlegt**.
- Für jedes Element vermerken, ob der zugehörige Raum durch das Objekt **belegt ist oder nicht**.
- Standardverfahren
  - **Unterteilung des Raumes** durch ein festes, regelmäßiges Gitter in Zellen identischer Geometrie
  - Im 3D-Raum erhält man **würfelförmige Zellen**, die als Voxel (Volume Element) bezeichnet werden.
    $\Rightarrow$ Analogie zu Pixel (Picture Element) im 2D

3.4 Raumteilungsverfahren

Vorteile

- Es ist sehr einfach zu bestimmen, ob ein gegebener Punkt **innerhalb oder außerhalb** eines Objekts liegt.
- Es ist einfach zu ermitteln, ob zwei Objekte **einander berühren**.
- Die Repräsentation eines gegebenen Objektes ist **eindeutig**.

Nachteile

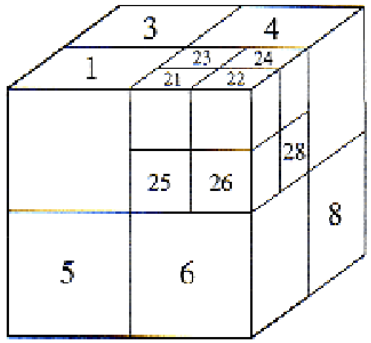
- Es können **keine nur teilweise** belegten Zellen existieren.
- Objekte können im Allgemeinen **nur approximiert** werden.
- Für eine Auflösung von n Voxeln in jeder Dimension werden **n^3 Voxel benötigt**.
- Art der Objektrepräsentation ist extrem speicheraufwändig

  $\Rightarrow$ günstigere Repräsentation durch **Octrees**

3.4 Raumteilungsverfahren

Octrees

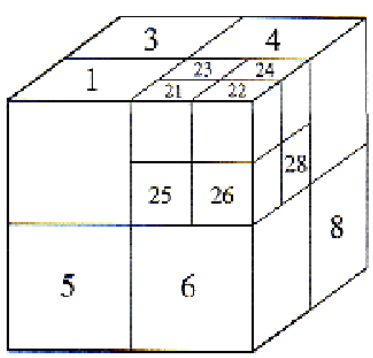
- Ein Octree ist eine **hierarchische Datenstruktur** zur effizienten Speicherung einer ungleichmäßigen Unterteilung des 3D-Raums.
- **Prinzip**
  - Initiales Element ist ein Würfel, der den **gesamten Objektraum** umfasst und die Zustände belegt / nicht belegt annehmen kann.
  - Der Belegungszustand des Würfels wird bestimmt. Sollte er nur teilweise vom Objekt belegt sein, so wird er **entlang jeder Dimension halbiert** (Oktanten)
  - Auf jeden entstehenden (Teil-)Würfel wird dieses Verfahren **rekursiv** so lange angewandt, bis es stoppt oder die gewünschte Auflösung erreicht ist.

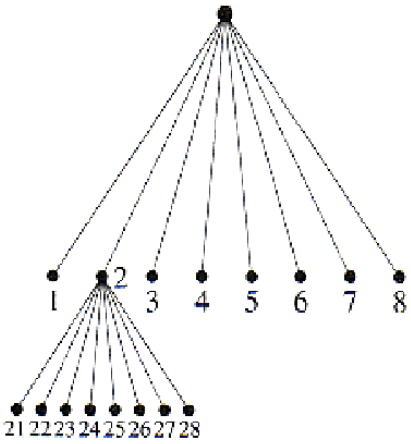


3.4 Raumteilungsverfahren

Octrees (Fortsetzung)

- In einem Octree besitzen alle inneren Knoten genau **acht direkte Nachfolger**.
- Die **Wurzel des Baumes** repräsentiert den initialen Würfel.
- Bei einer Unterteilung wird für jeden entstehenden Teilwürfel nach einem **festen Nummerierungsschema** ein neuer Knoten als Sohn eingefügt.
- Jedes Blatt **speichert Zustand** des zugehörigen (Teil-)Würfels.
- Jeder **innere Knoten** repräsentiert einen nur teilweise belegten Würfel.





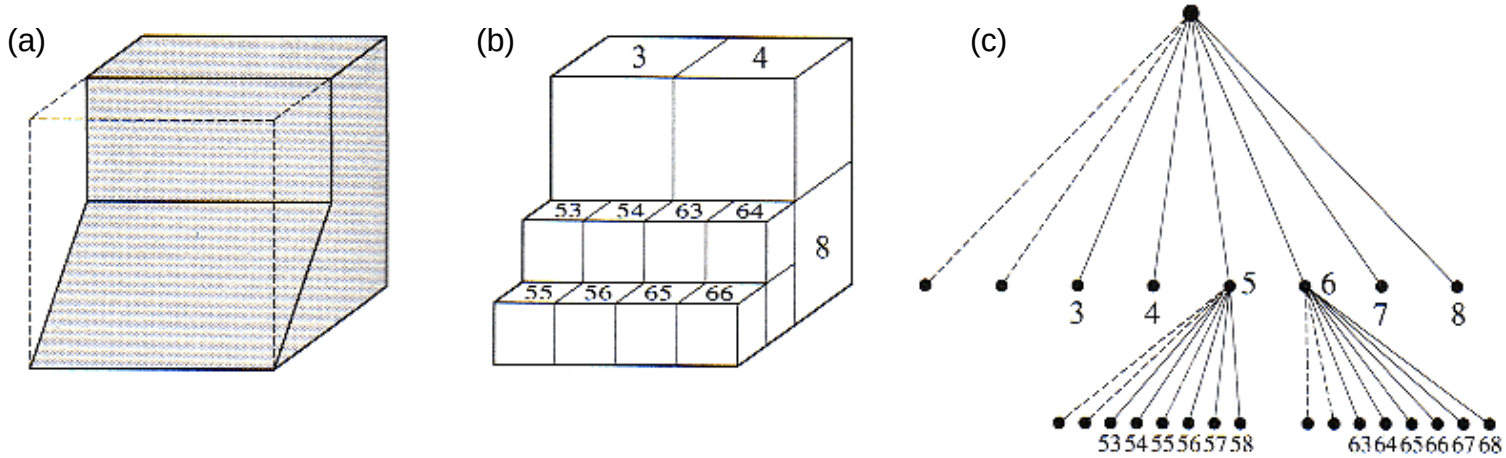
Octrees (Fortsetzung)

Beispiel: Repräsentation eines 3D-Objekts durch einen Octree

(a) Objekt, eingebettet in den initialen Würfel

(b) Repräsentation des Objektes bei maximal zweimaliger Unterteilung des Raumes

(c) zugehörige Octree-Datenstruktur



Octrees (Fortsetzung)

- Wesentlich häufiger als zur direkten Repräsentation von Objekten werden Octrees zur **räumlichen Unterteilung** der Objekte innerhalb einer Szene eingesetzt.
- Die einzelnen Objekte werden hierbei durch Standard-Datenstrukturen repräsentiert (zB. polygonal).
- Der Informationsgehalt der Zellen des Octrees wird von dem binären „belegt“-Zustand auf eine Liste von Objekten (bzw. Polygone, ...), die in der Zelle enthalten sind, erweitert.
- Dies führt zu einer wesentlichen **Beschleunigung** von Algorithmen, die lokal auf einzelnen Regionen des Raumes arbeiten (zB. Ray Tracing):
  - Leere Regionen können **übersprungen** werden.

n-ary trees

- Das beim Octree realisierte Prinzip der Unterteilung des dreidimensionalen Raumes kann allgemein auch auf den **n-dimensionalen Raum** angewandt werden.
- Für den Fall n=2
  - I.A. Unterteilung der **Ebene**
  - Datenstruktur heißt **Quadtree**
  - Jeder innere Knoten des Baumes besitzt genau vier Kinder.
- Für den Fall n=1
  - **kD-Tree**
  - Elternknoten hat bis zu **zwei Kinder.**
- Muss **keine feste** Unterteilungsstrategie repräsentieren.

Quadtrees

- I.A. Unterteilung der Ebene
- Jeder innere Knoten des Baumes besitzt genau vier Kinder.
- Historisch gesehen sind Quadtrees die **älteren Bäume**.
- Sie wurden bereits in den späten 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts erstmalig verwendet.
- Octrees wurden von den Quadtrees abgeleitet und kamen erst ab Ende der 70er, Anfang der 80er Jahre zum Einsatz.

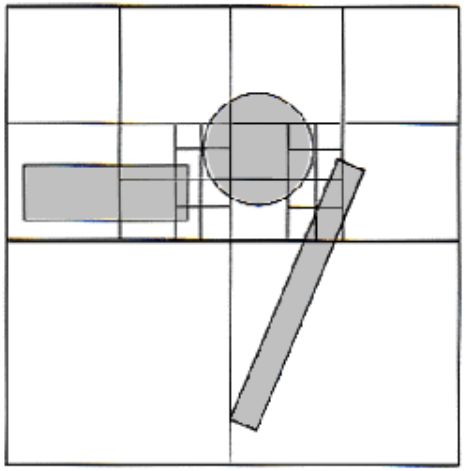
Quadtrees (Fortsetzung)

Beispiel: Unterteilung einer 2D-Szene durch einen Quadtree

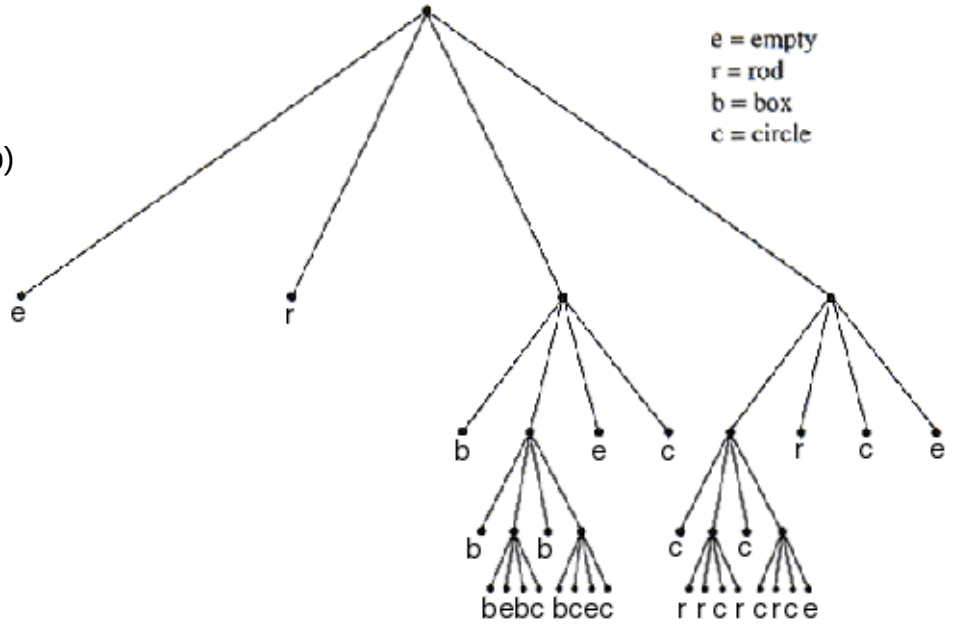
(a) Unterteilung des Raumes, bis die Zellen maximal eine Objektreferenz enthalten

(b) zugehörige Quadtree-Datenstruktur, vier Generationen

(a)



(b)



kD-Tree

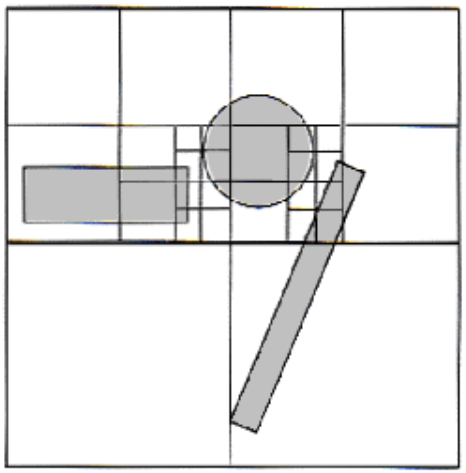
Beispiel: Unterteilung einer 2D-Szene durch einen kD-Tree

(a) Unterteilung des Raumes, bis die Zellen maximal eine Objektreferenz enthalten

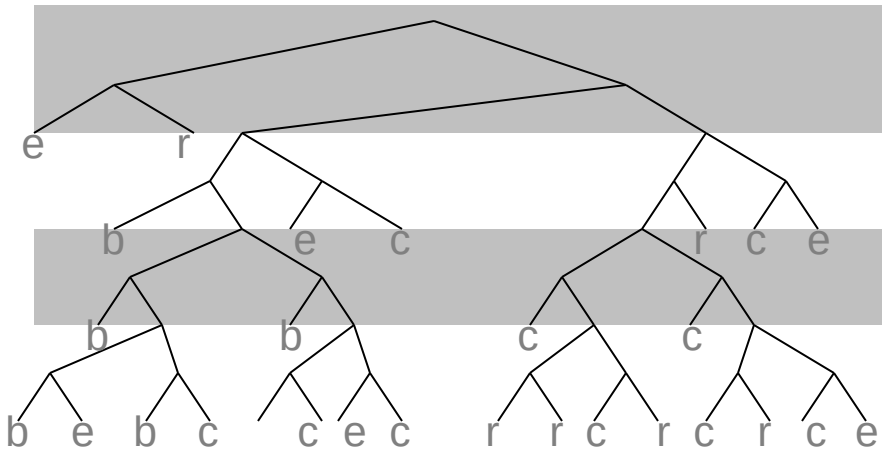
(b) zugehörige kD-Tree-Datenstruktur, acht Generationen (Grau = Quadtree-Generationen)

e = empty
r = rod
b = box
c = circle

(a)



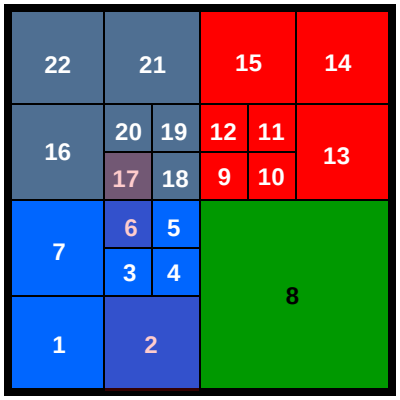
(b)

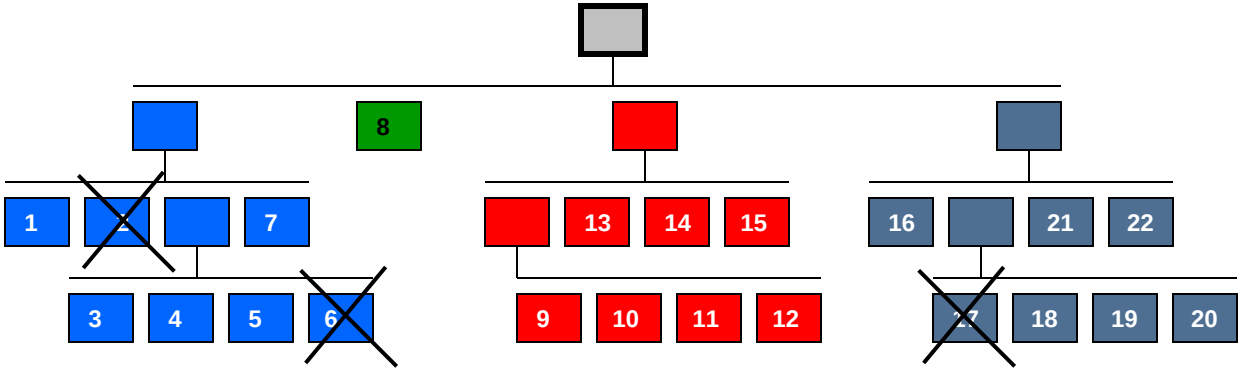


3.4 Raumteilungsverfahren

Lineare (Quad-)Trees

- **Reduzierter** (Quad-)Tree
- **Nicht alle Kinder** enthalten Information
- **Zeigerhierarchien** bis auf Voxelebenen **können sehr groß** werden
- Kompaktere Repräsentation durch **implizite Nummerierung**
- Weitere Einsparung: **nur belegte** Kinderknoten
  - Feste räumliche Zuordnung kann **verloren** gehen

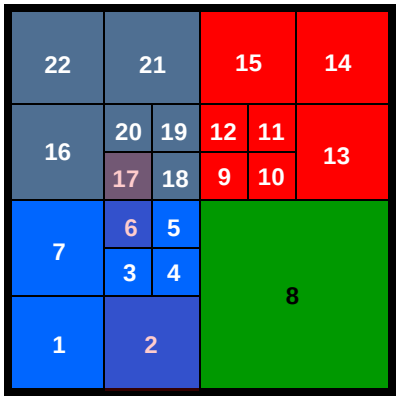


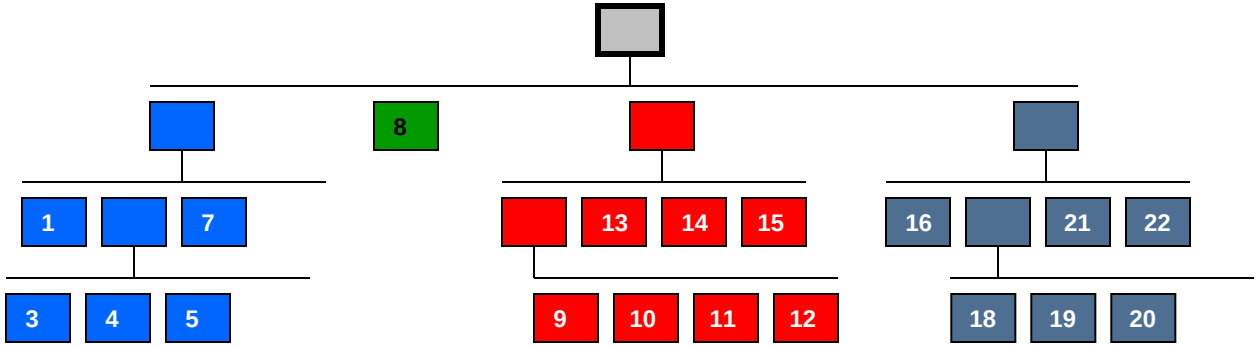


3.4 Raumteilungsverfahren

Lineare (Quad-)Trees

- **Reduzierter** (Quad-)Tree
- **Nicht alle Kinder** enthalten Information
- **Zeigerhierarchien** bis auf Voxelebenen **können sehr groß** werden
- Kompaktere Repräsentation durch **implizite Nummerierung**
- Weitere Einsparung: **nur belegte** Kinderknoten
  - Feste räumliche Zuordnung kann **verloren** gehen

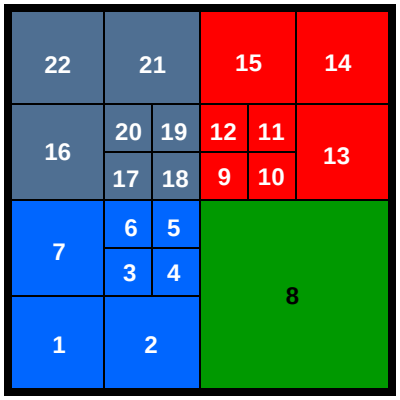


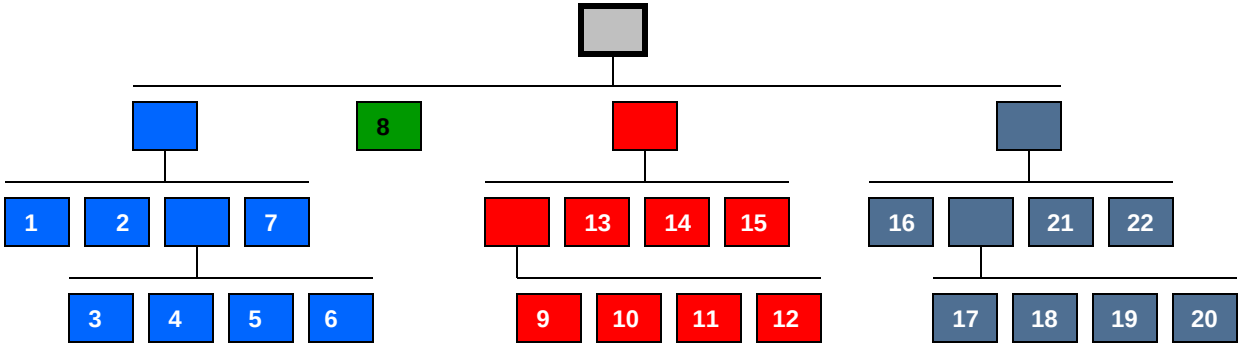


3.4 Raumteilungsverfahren

Lineare (Quad-)Trees

- **Trennung** von Zeigern und Daten
- **Zeiger zeigen** auf Daten
- Ggf. **Umsortierung** entsprechend der sequentiellen Traversierungsreihenfolge zur Cache-Optimierung





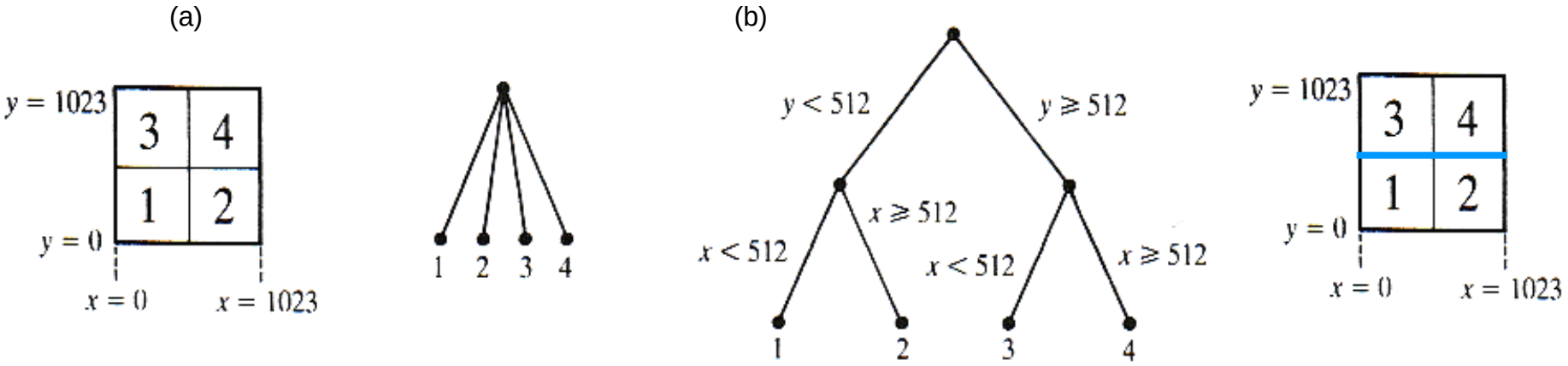
3.4 Raumteilungsverfahren

n-Bäume

Beispiel: Unterteilung einer 2D-Szene

(a) durch einen Quadtree

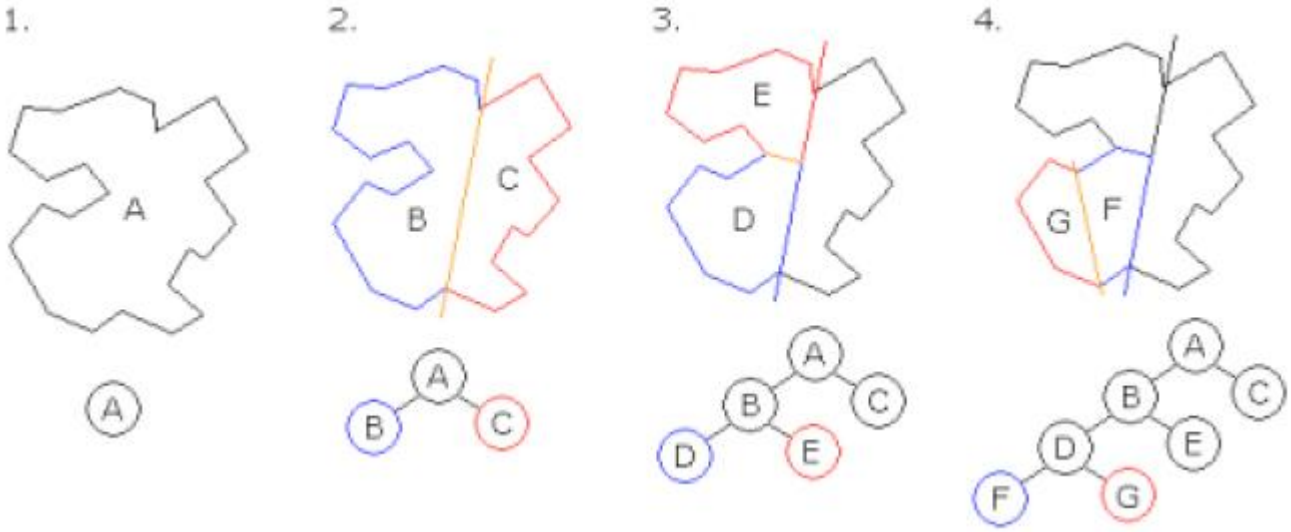
(b) durch einen entsprechenden kD-Tree



3.4 Raumteilungsverfahren

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

- Octrees, Quadtrees und kD-Trees unterteilen rekursiv für jede Stufe den Raum **wechselseitig senkrecht** zueinander in allen Dimensionen.
- Statt einer festen orthogonalen Unterteilung teilt das BSP-Verfahren den Raum rekursiv mittels einer **beliebigen (Hyper-) Ebene** in zwei Unterräume



[www.beyond3d.com]

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

- Rekursive Unterteilung mittels einer **beliebigen (Hyper-)Ebene**
  - Definiert man einen Unterraum als „Innen“, den anderen als „Außen“, so können konvexe Polyeder durch geeignet orientierte, das Volumen begrenzende Ebenen modelliert werden.
  - Durch Vereinigung konvexer „Innen“-Regionen können beliebige konkave Polyeder mit Löchern definiert werden.

BSP-Bäume (Fortsetzung)

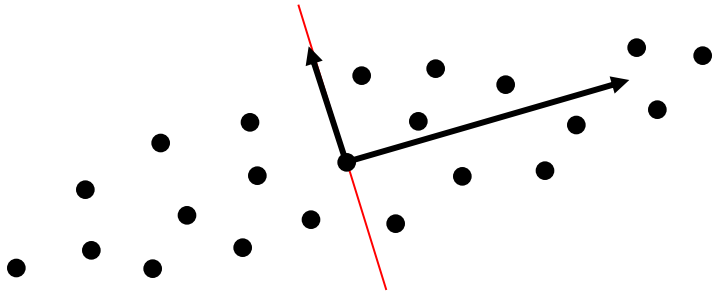
- BSP-Bäume können wie Octrees und Quadtrees zur Unterteilung von Szenen verwendet werden (siehe folgendes Beispiel).
- Dabei sind sie jedoch an **kein Raster** gebunden!
- Der Raum soll rekursiv durch Ebenen so unterteilt werden, dass in jeder Region **höchstens ein Objekt** enthalten ist.
- Über die **relative Lage der Regionen** zum Betrachter kann die Tiefenstaffelung der Objekte bestimmt werden.
  (Welche Objekte können überhaupt sichtbar / verdeckt sein?)

Aufteilungsbäume

- **Dimensionalität ist Tradeoff** zwischen Anzahl der Kinder (Tests auf einer Ebene) und Hierarchietiefe (Absteigetiefe)
- iA. orientiert sich Dimensionalität an **Ausdehnungsdimension**
  - Raum (3D) ⇒ Octree
  - Fläche/Ebene (2D) ⇒ Quadtree
  - Richtung (1D) ⇒ kD-Tree, BSP-Tree
- Solange **feste KindID / Lokalisierungsinformation** nicht genutzt wird, kann #Kinder beliebig sein
- **Balancierte** Bäume: Gleiche Anzahl von Knoten/Blättern in den jeweiligen Verzweigungen

Principal Component Analysis (PCA)

- Eine **ideale Wahl** der Unterteilungsebene für BSP-Bäume liefert die PCA.
- **Angenommen**, eine komplexe Szene ist gegeben durch die Punktewolke $P_i \in IR^2$ (i=1,...,n)
  (zB. Objektmittelpunkte oder Eckpunkte der Polygone).
- PCA liefert ein **orthogonales Koordinatensystem** e_1,e_2,e_3, dessen Ausrichtung der Punktwolke entspricht.



Principal Component Analysis (Fortsetzung)

- Wähle den Mittelwert c als Ursprung:

$$c = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i$$

$$A = \begin{pmatrix} P_{1x} - c_x & P_{1y} - c_y & P_{1z} - c_z \\ P_{2x} - c_x & P_{2y} - c_y & P_{2z} - c_z \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{nx} - c_x & P_{ny} - c_y & P_{nz} - c_z \end{pmatrix}$$

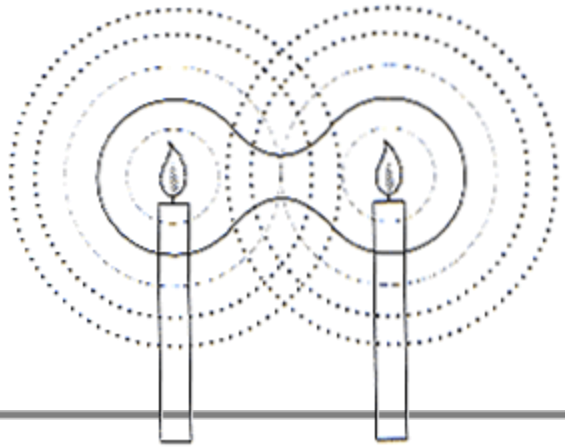
$$B = \frac{1}{n-1} A^T A,\ b_{ij} = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n} a_{ki} a_{kj}$$

- B hat reelle Eigenwerte λ_1, λ_2, λ_3 und Eigenvektoren e_1, e_2, e_3, dh. $\lambda_i \cdot e_i = B \cdot e_i$.
- Die Eigenvektoren mit dem Ursprung c bilden das gesuchte System.
- Die Ausdehnung der Punktwolke in Richtung e_i ist proportional zu $\sqrt{\lambda_i}$. (Analog für beliebige Dimension.)

3.5 Implizite Beschreibungen

Idee

- Beschreibung von Objekt-Flächen bzw. -Volumina als **Isoflächen in Skalarfeldern**.
- Die Skalarfelder ihrerseits entstehen kontrolliert durch **erzeugende Primitive** (Funktionen).
- Beispiel:
  - Punkthitzequellen erzeugen isoliert voneinander **sphärische Feldfunktionen**.
  - Durch Addieren beider Felder entsteht ein globales Skalarfeld.



3.5 Implizite Beschreibungen

Wir betrachten nun beispielhaft sogenannte diskrete „Blobs“

- Ausgangspunkt zur Definition eines Blobs ist eine Feldfunktion $F_d: IR^3 \rightarrow IR$ um einen Mittelpunkt $P \in IR_3$.
- F_d ist hierbei im wesentlichen die Komposition
  - einer **monoton fallenden Funktion** - der sogenannten Einflussfunktion
  - und eines **Abstandsmaßes** (hier euklidisches Maß) zwischen der freien Variablen $x \in IR^3$ und dem Mittelpunkt P.
- Der Index d deutet an, dass die Feldfunktion um einen **diskreten Mittelpunkt** definiert ist.
- Als eigentlichen Blob bezeichnet man in diesem Zusammenhang diejenige **Fläche**, die bei einem **vorgegebenen Isowert** vom Skalarfeld von F_d implizit definiert wird.

3.5 Implizite Beschreibungen

- Existieren mehrere Blobs mit Feldfunktionen $F_d(i; x)$: $IR^3 \rightarrow IR$ um Mittelpunkte $P_i \in IR^3$ (i=1,...,n), so überlagern sich ihre Einflüsse nach dem Superpositionsprinzip
- Die resultierende Feldfunktion des entstehenden Skalarfeldes ergibt sich dann einfach als Summe der einzelnen Feldfunktionen:

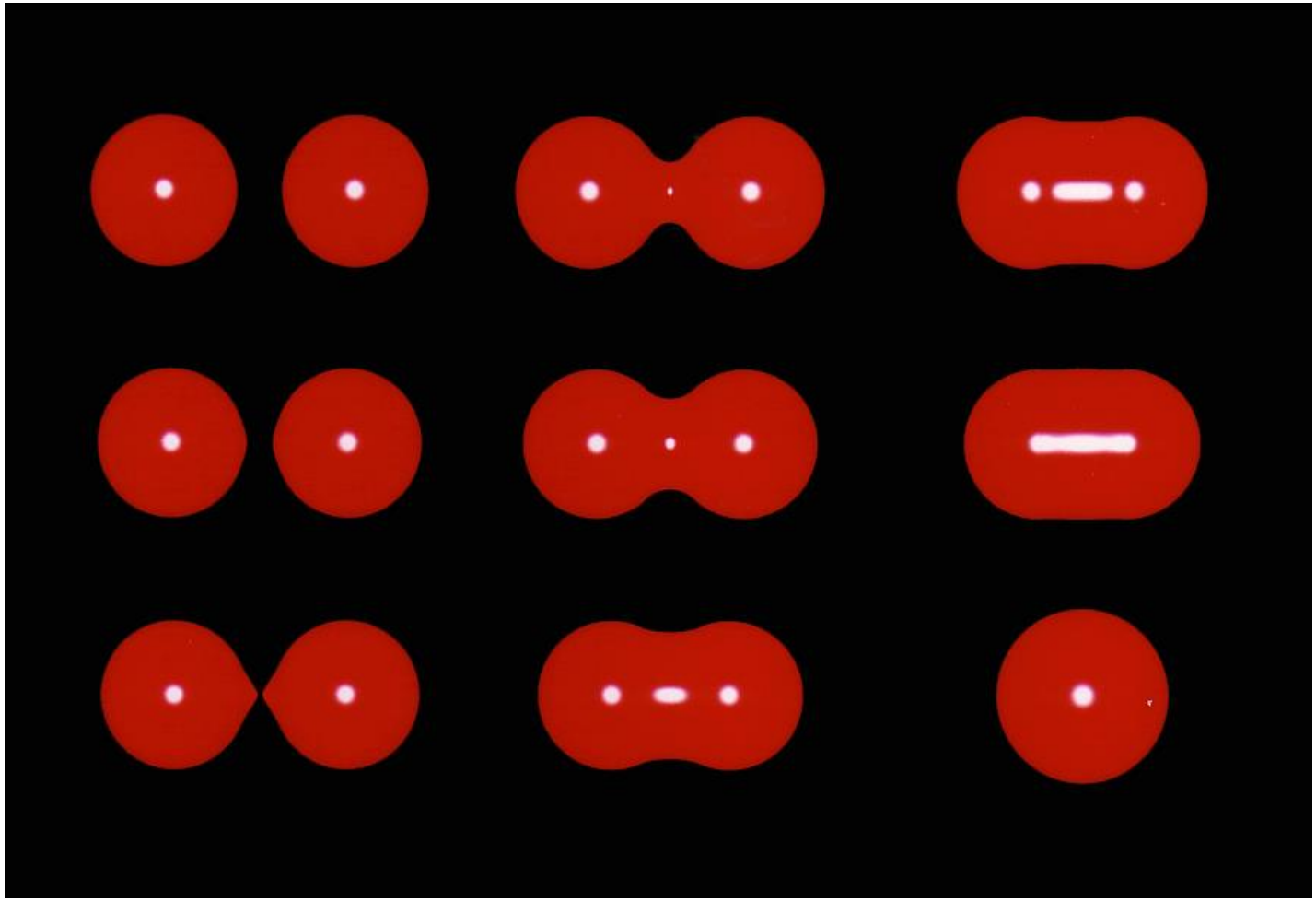
$$F : IR^3 \rightarrow IR \quad F(x) = \sum_{i=1}^{n} F_d(i; x)$$

- Ist c eine vorgegebene Konstante kleiner als der maximal im Skalarfeld vorkommende Wert, so definiert die Menge aller $x \in IR^3$ mit $F(x) = c$ eine **Isofläche S** vom Niveau c.
- Die Fläche S wird durch diese Gleichung implizit definiert. **c wird auch Isowert genannt**, S auch **Niveaufläche**.

3.5 Implizite Beschreibungen

- Das **Erscheinungsbild** der zugehörigen Isofläche ist bei sinnvoller Anordnung der Mittelpunkte und Benutzung einfacher Feldfunktionen **gut kontrollierbar**.
- Die nachfolgende Abbildung zeigt Isoflächen, die von jeweils **zwei radialsymmetrischen Feldfunktionen** erzeugt werden.
  - Zugehörigen Mittelpunkte werden immer weiter **aufeinander zu bewegt** und schließlich zur Deckung gebracht.
  - **Verschmelzungseffekt**: **separierten Isoflächen gehen glatt** (in diesem Fall C^1-stetig) **ineinander über**, falls der Abstand der Mittelpunkte klein genug wird.
- **Zerreißeffekt** : umgekehrter Reihenfolge

3.5 Implizite Beschreibungen



Einflussfunktion

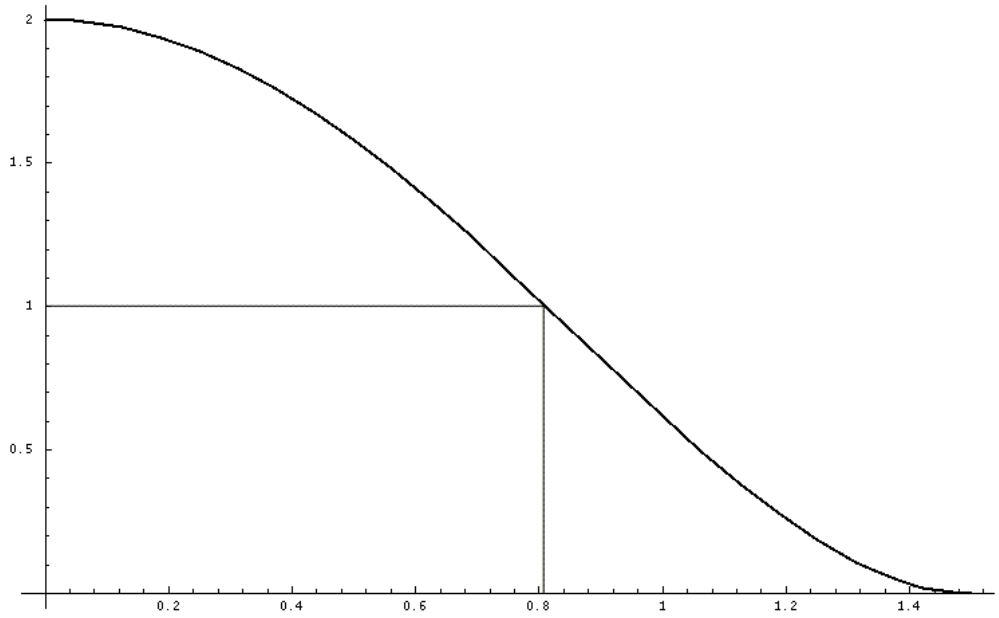
Die häufig verwendeten Einflussfunktionen $f:IR_0^+ \rightarrow [0,a]$ mit $a \in IR$, $a>0$ sind festgelegt durch

- Für $t \in [0,b]$ ($b \in IR$, $b>0$) ist f ein gerades Polynom
- $f(t)=0$ für $t>b$, b ist der maximale Einflussradius
- $f(0)=a$, $f(b)=0$
- $f'(0)=0$, $f'(b)=0$
- f ist monoton fallend auf $[0,b]$

Folgende Abbildung zeigt den **Graph** einer so definierten **Einflussfunktion**

3.5 Implizite Beschreibungen

Einflussfunktion (Fortsetzung)

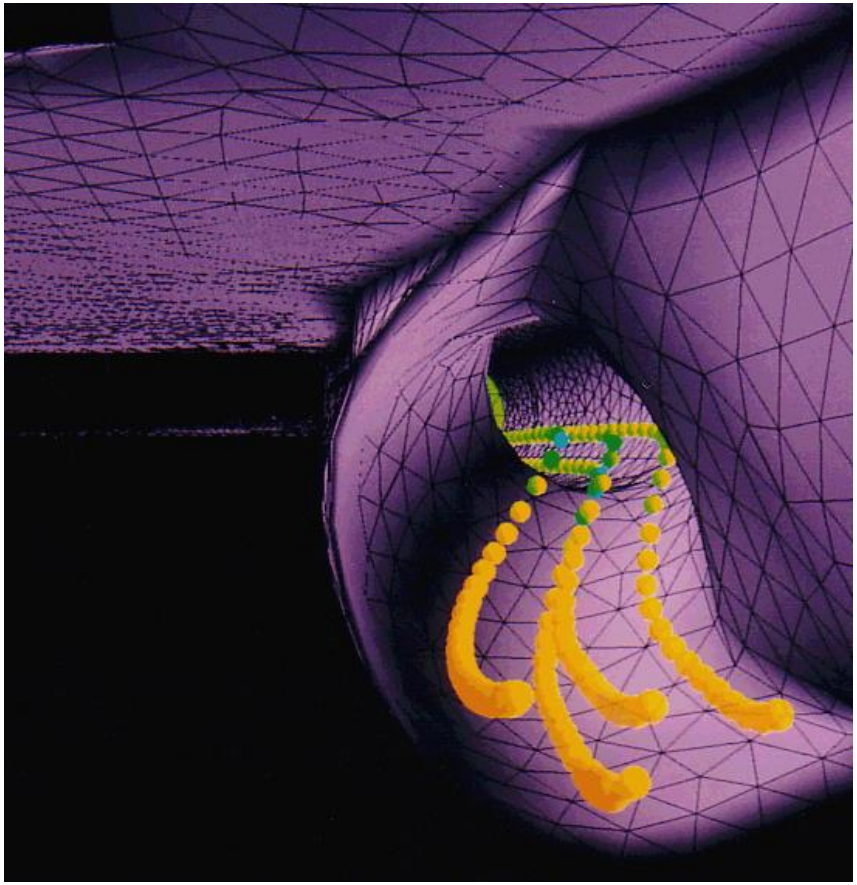


- Damit lautet schließlich die radialsymmetrische Feldfunktion eines diskreten Blobs im Punkt P:

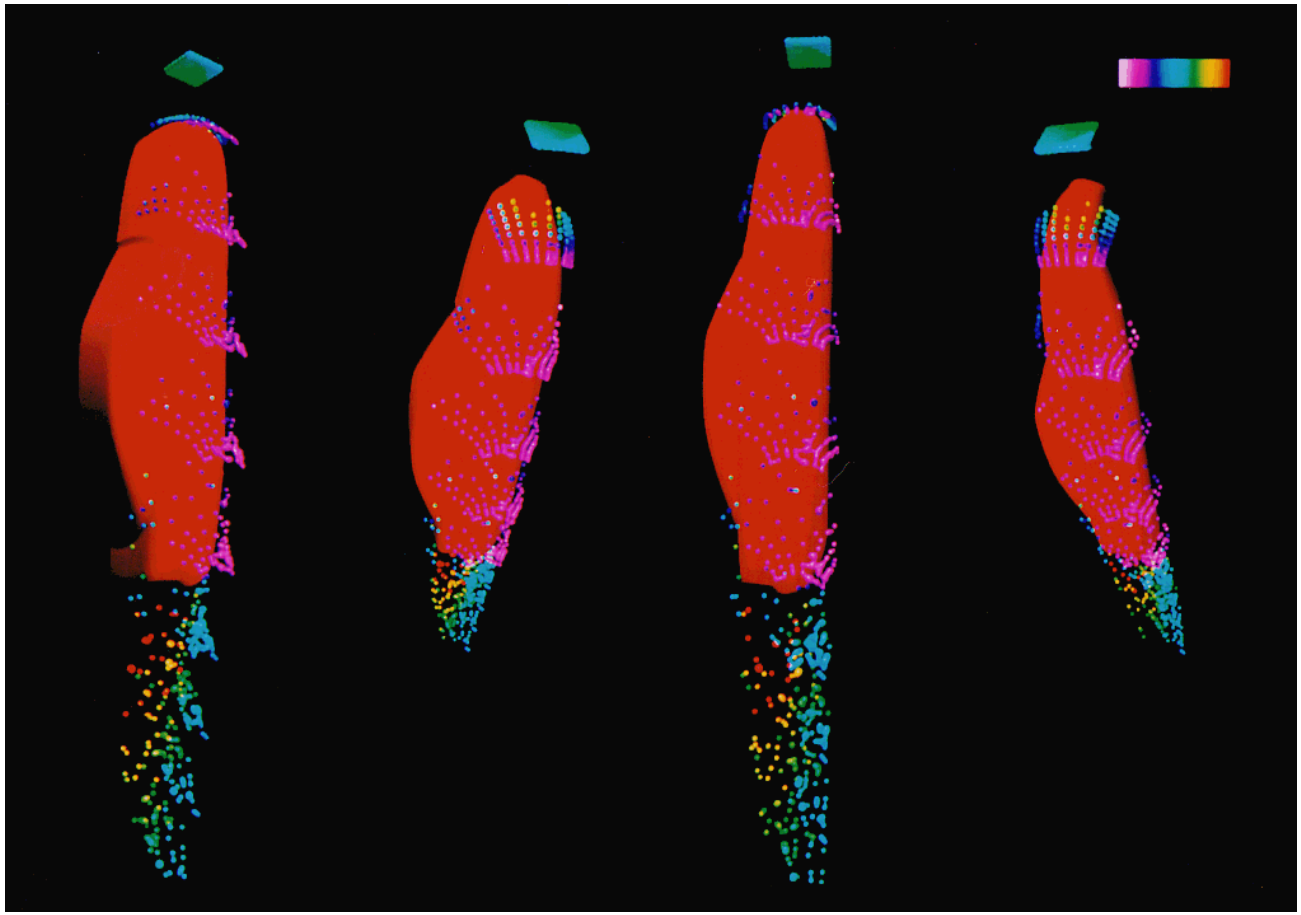
  $F_d: IR^3 \rightarrow IR$ mit $F_d(x) = f(||x-P||^2)$

3.5 Implizite Beschreibungen

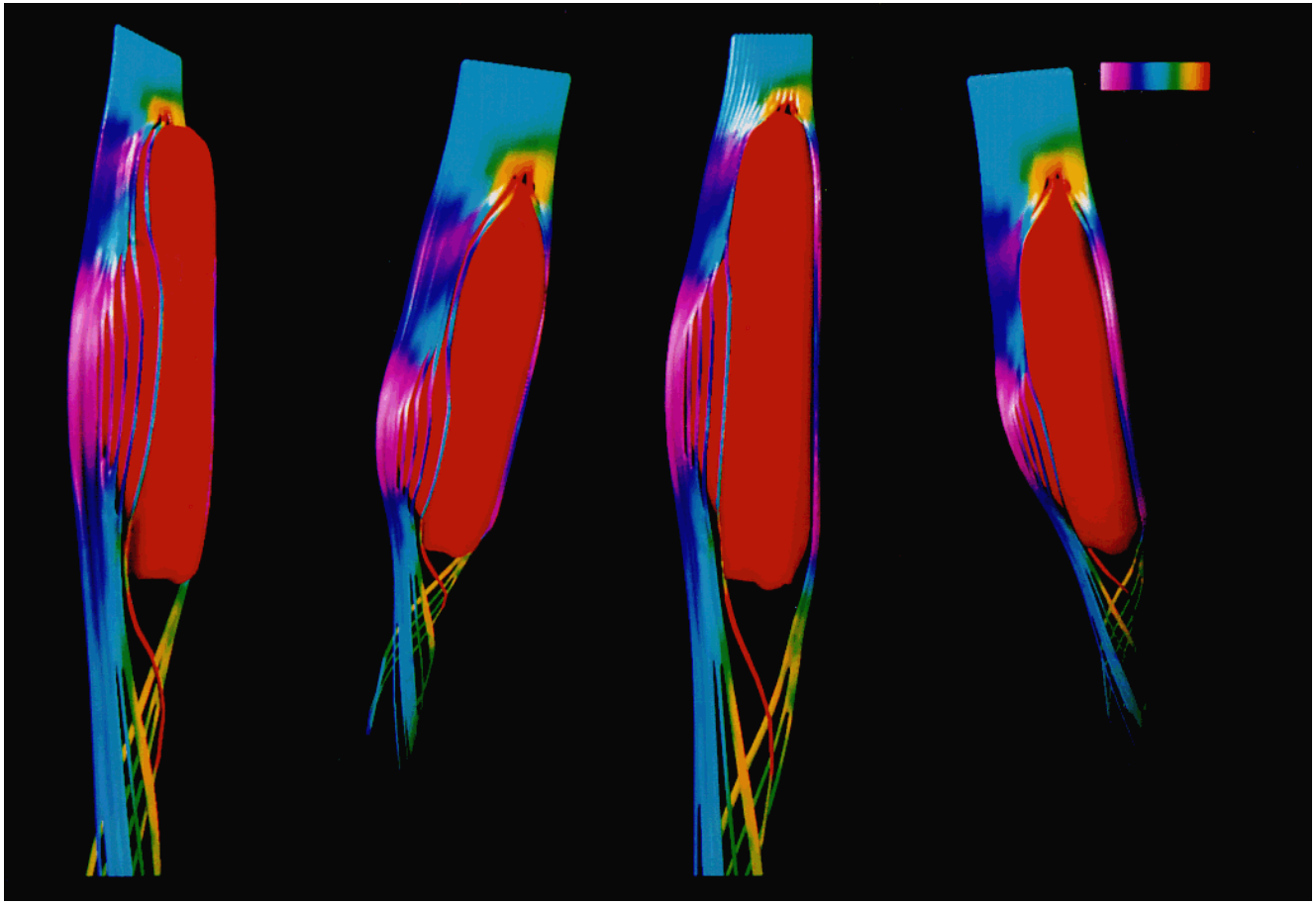
Anwendung: Strömungssimulation



Anwendungen: Strömungssimulation

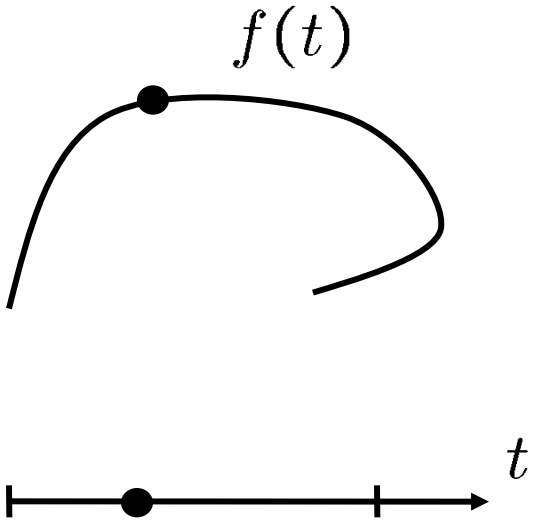


Anwendungen: Strömungssimulation

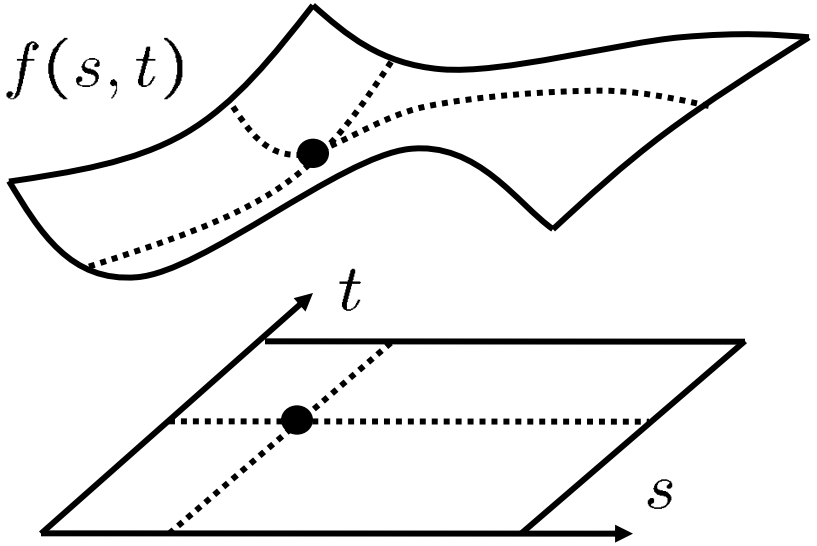


3.6 Parameter-Darstellung

- **Parametrische Kurven und Flächen** werden neben der polygonalen Darstellung am häufigsten eingesetzt (Freiformmodellierung => Kap. 7).



Parameter-Kurve



Parameter-Fläche

3.7 Szenenmanagement

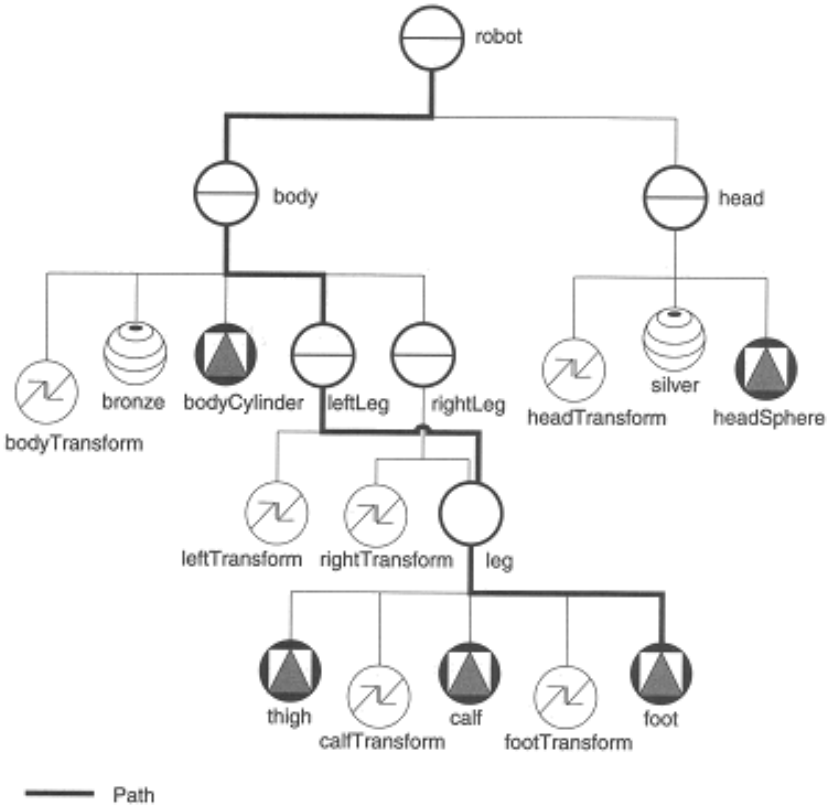
- Mit steigenden Anforderungen durch hochqualitative Realzeit-Computergraphik wird die effiziente **Organisation und Verwaltung** der Szene - das **Szenenmanagement** - immer bedeutsamer
  - Vor allem in Anwendungsbereichen Spieleindustrie und Virtual Reality
- Zugleich erfolgt das **eigentliche Rendering** einzelner Objekte in der **Hardware** (GPUs).
- Zusammenfassung und Organisation der Objekte in Szenen mit **hierarchischen Baumstrukturen** (Szenengraphen)
- Anwendung verschiedener Techniken
  - Level-of-Detail-Strukturen (LOD)
  - Verdeckungsrechnung
  - Texturparametrisierung

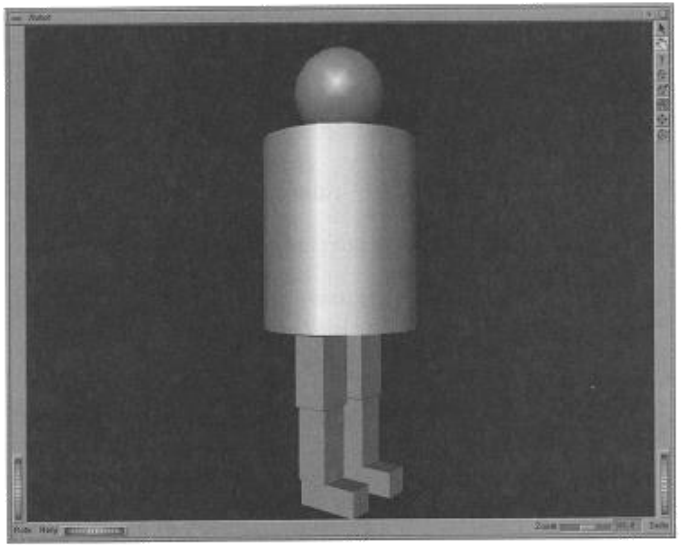
Szenengraph

- **Hierarchische Baumstruktur** zur Speicherung einer Szene mit ihren Modellen
- Praktisch alle heutigen Graphiksprachen bieten eine Organisation über eine Szenengraph-Struktur an
- Im Einzelnen kann der Szenengraph enthalten
  - Shapes (Formen, Geometrie, Erscheinungsbild)
  - Gruppierungen
  - Transformationen
  - Lichtquellen, Hintergrund, Nebel,...
  - Sichtdefinition
  - Verhalten (zB. bei Animationen)
  - anwendungsspezifische Attribute, akustische Ausgabe

Szenengraph (Fortsetzung)

Beispiel: Open Inventor-Szenengraph





LOD (Level of Detail) - Multiresolutionrepräsentation

Motivation: Allgemein tendieren Verfahren zur Erzeugung polygonaler Modelle dazu, „**zu viele“ Polygone** zu produzieren.

Problem

- 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 polygonalen Auflösungen** der Objektrepräsentation - Level of Detail (LOD).
- Diese werden als sogenannte „Detail Pyramid“ / Multiresolutionrepräsentation verwaltet.

LOD (Level of Detail) - Multiresolutionrepräsentation

- Statische LODs: Feste, vordefinierte Auflösungsstufen
- Progressive LODs: Vordefinierte Einzeloperationen
- Dynamische LODs: Online Berechnung
- Blickpunktabhängige LODs: IdR. Variante der dynamische LODs

LOD (Fortsetzung)

Forschungsaspekte

- Mesh Simplification

  Reduzierung der Polygone auf eine Anzahl, die gerade für die aktuelle **Qualitätsanforderung** ausreicht

- Level of Detail-Approximation

  Vermeidung von **Popping**, dh. visuellen Sprüngen beim Umschalten zwischen verschiedenen Detaillierungsgraden
  $\Rightarrow$ Geomorphs (sanfte visuelle Übergänge)

- Progressive Transmission
  3D-Äquivalent zur progressiven Übertragung verschiedener **Detaillierungsgrade** bei 2D-Bitmap-Bildern

LOD (Fortsetzung)

Forschungsaspekte

- Mesh Compression

  Minimierung des Speicherplatzes der Koordinaten / Topologie mittels Kompressionsverfahren (Transformation, Quantisierung und Kodierung der Koeffizienten)

- Selective Refinement

  Dynamische kontextabhängige LOD-Technik zB.: Pilot fliegt mit Flugzeug über eine Landschaft. Diese muss nur dort detailliert dargestellt werden, wo sich das Flugzeug befindet / wo der Pilot hinschaut.

Quellen

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