UNIVERSITÄT
LEIPZIG

Sichtbarkeit

COMPUTERGRAPHIK

Inhaltsverzeichnis

8.1 PROBLEMSTELLUNG

- Sichtbarkeitsberechnung
  - Ihr Ziel ist die (möglichst) exakte Bestimmung der von einem gegebenen Blickpunkt aus sichtbaren bzw. unsichtbaren Teile der darzustellenden Szene
- Anforderungen
  - Wünschenswert ist **hohe Interaktionsrate**, so dass Eingaben des Benutzers sich direkt auf die Darstellung auswirken
  - In den meisten Fällen ist die **Echtzeitausgabe** der Szene nötig
- Einteilung der Verfahren:
  - **Objektraumverfahren**
    - prinzipiell geräteunabhängig
    - Rechengenauigkeit ist die Maschinengenauigkeit
  - **Bildraumverfahren**
    - geräteabhängig
    - Rechengenauigkeit ist die Auflösung des Ausgabegerätes

8.1 PROBLEMSTELLUNG

- Bestimmung der sichtbaren Objekte
  - Welches Objekt liegt dem Betrachter (Bildebene) am nächsten?
  - Notwendig für die korrekte Darstellung
  - Abhängig von der Darstellungsart

- Wireframe-Darstellung:
  - Darstellung der Begrenzungskanten von Flächen
  - Entfernung verdeckter Kanten (Hidden Line Removal, HLR)
- Flächendarstellung
  - Darstellung der Flächen
  - Hidden Surface Removal (HSR)

- Transparenzen müssen ggf. berücksichtigt werden

8.2 Projektion

- Dreidimensionale Szene wird auf die Bildebene projiziert
  - Unterschiedliche Objektteile werden auf dieselbe Stelle abgebildet
    - (x, y)-Koordinate in der Bildebene
  - Sichtbar sind diejenigen Objektpunkte, die dem Auge des Betrachters am nächsten gelegen sind
    - Tiefenrelation der Szene (z-Koordinate)
- Beschleunigung
  - Berechnung nicht sichtbarer Teile der Szene (Culling)
  - Nutzt Heuristiken
  - In der Regel keine exakte Lösung

8.2 Projektion

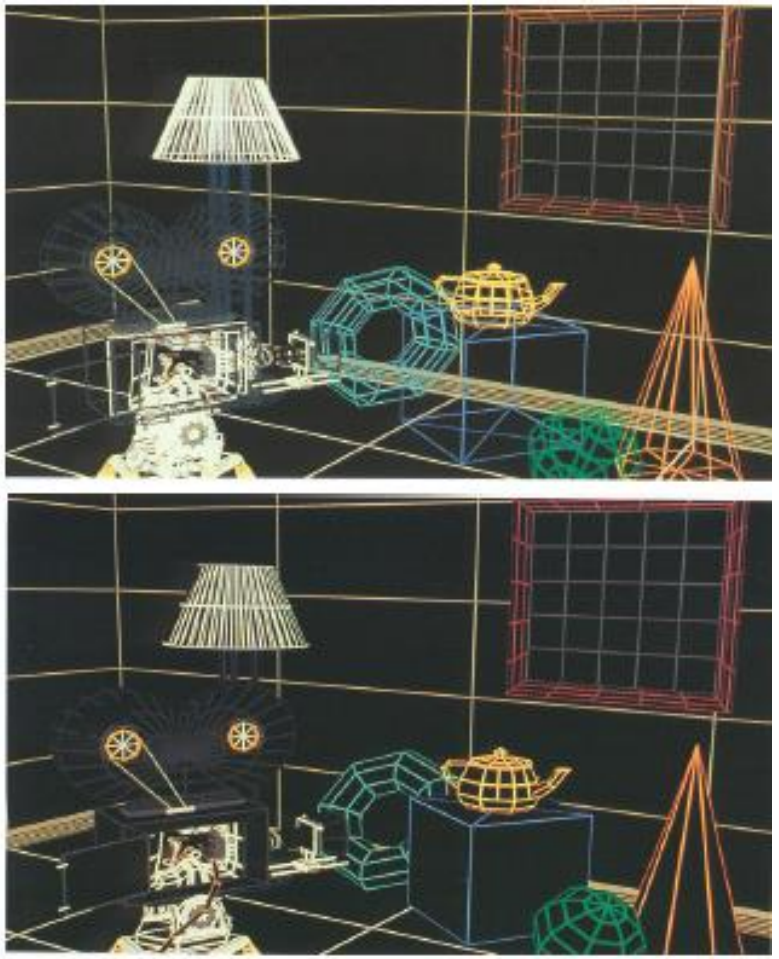
Kohärenz: Ausnutzung lokaler Ähnlichkeiten

- Objektkohärenz:
  schneiden sich zwei Objekte nicht, so müssen auch ihre Flächen nicht auf Schnitt getestet werden
- Flächenkohärenz:
  Eigenschaften benachbarter Punkte auf einer Fläche ändern sich oft nur unwesentlich
- Tiefenkohärenz:
  Die Tiefe z an der Position (x, y) einer Fläche kann oft inkrementell berechnet werden
- Zeit-/Framekohärenz:
  Oft ändern sich nur wenige Anteile eines Frames

8.2 Projektion

Wireframe-Darstellung

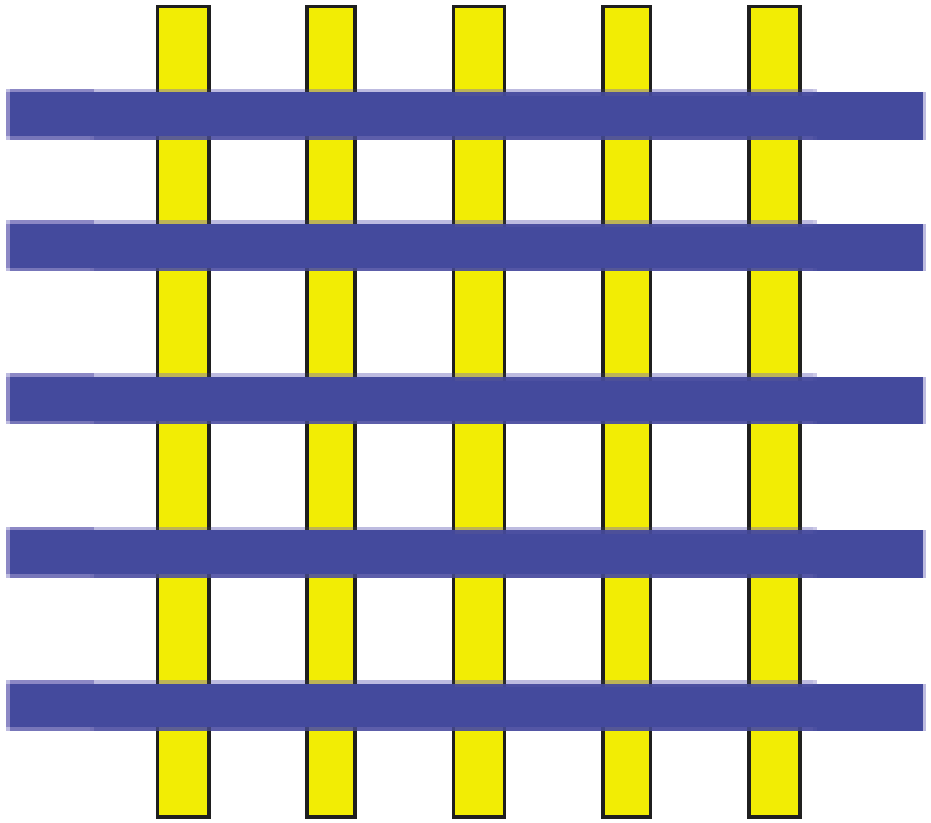
- Kanten der Flächen werden dargestellt
- Eigentlich verdeckte Kanten scheinen durch
- Hidden-Line-Removal: Entfernen verdeckter Kanten



8.2 Projektion

Sichtbarkeit von Polygonen

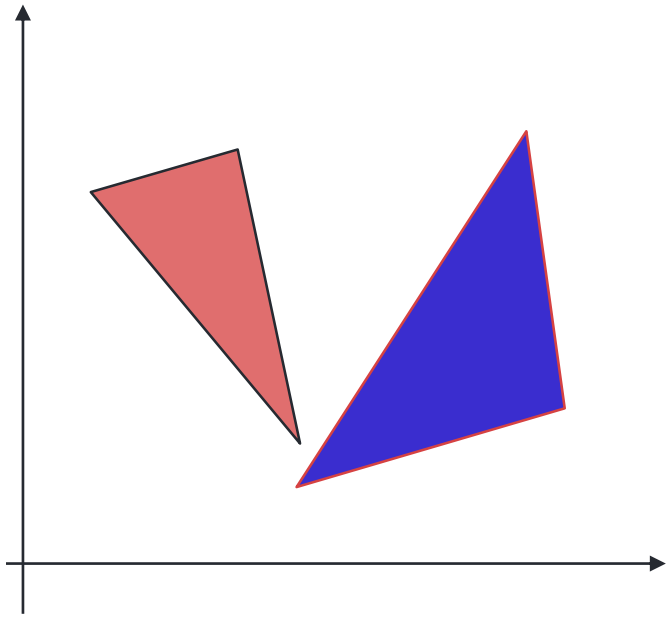
- Projektion auf die Bildebene
- Zerlegung in Pixel
- Pixel werden im Framebuffer abgelegt
- Letztes gerastertes Polygon besetzt Pixelpositionen im Framebuffer

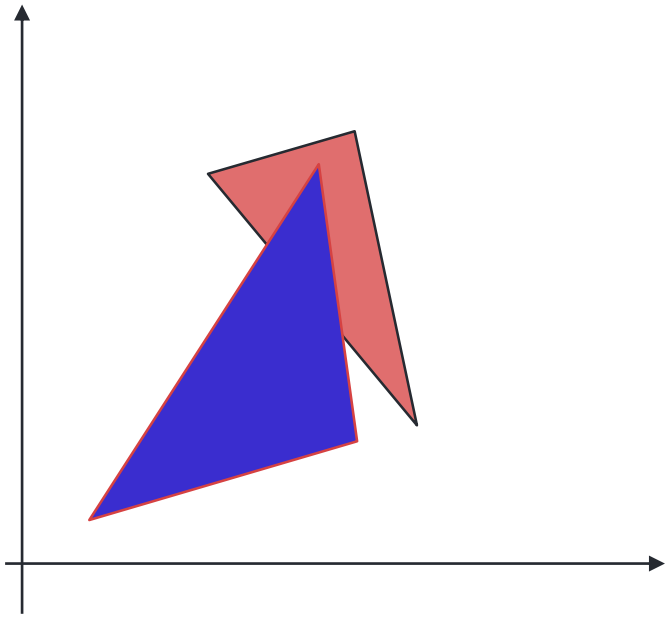


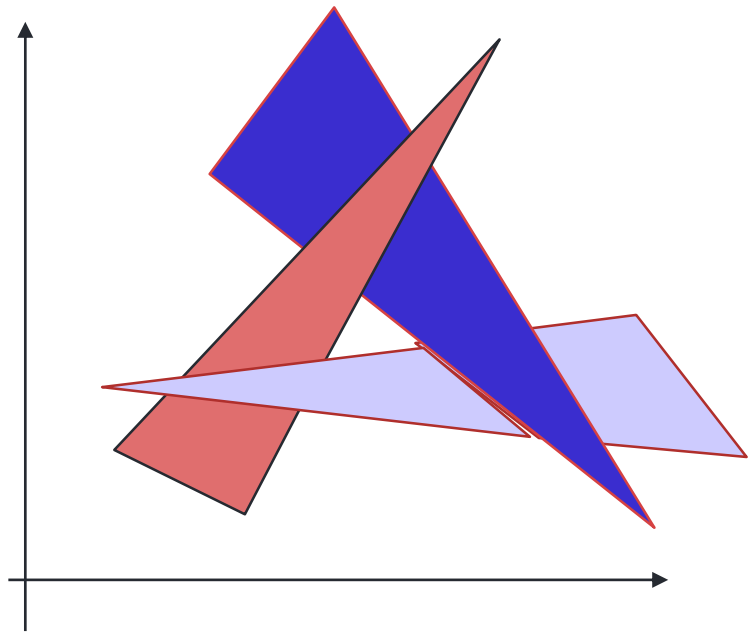
8.2 Projektion

Sichtbarkeit von Polygonen

- Welches Polygon müsste gesehen werden?
  Das dem Beobachter am nächsten Gelegene!
- Klare Aussage, welches das nächste ist, ist nicht immer gegeben.



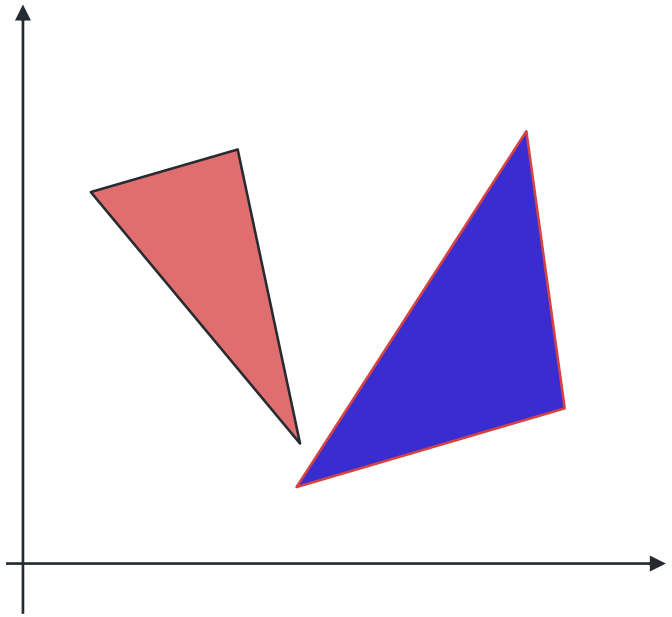


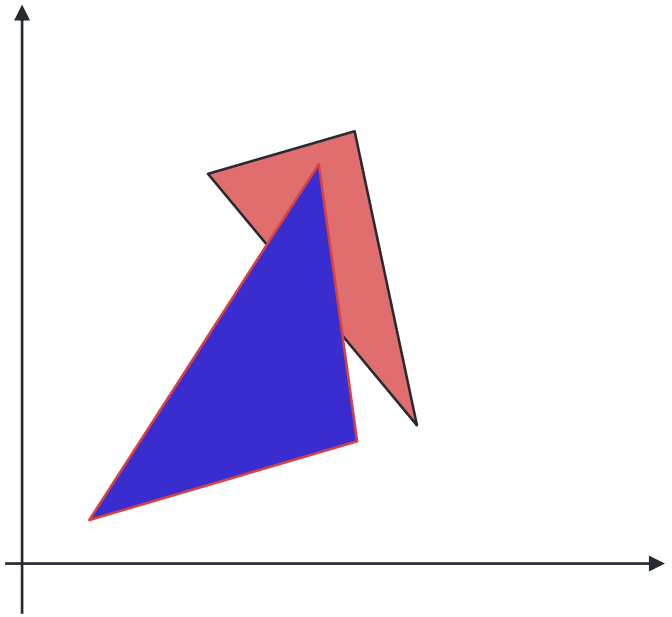


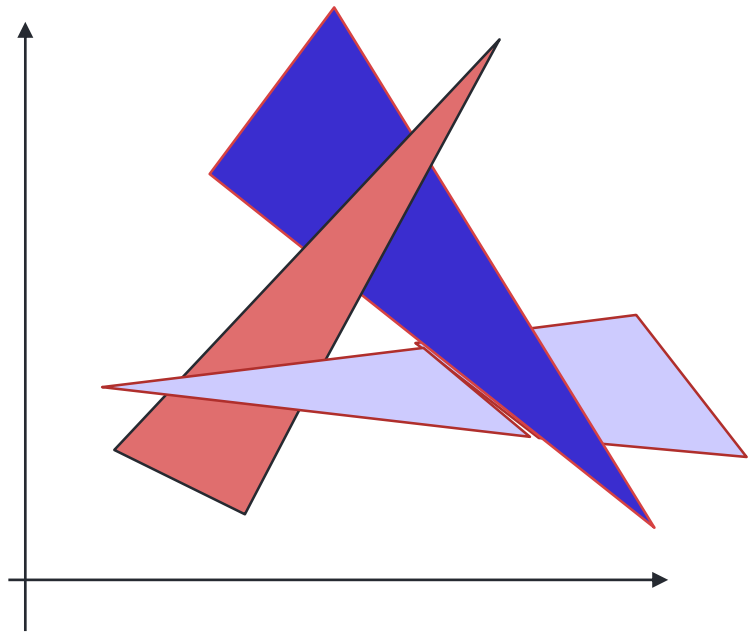
8.2 Projektion

Sichtbarkeit von Polygonen

- Sichtbarkeit: Sortierproblem
- Gleiches muss bei der Berechnung von Transparenz berücksichtigt werden







8.2 Projektion

Painter‘s Algorithmus

- Idee: Male Polygone von hinten nach vorne
- Erfordert Tiefensortierung!
- Wenn Tiefenwerte (z-Wert) der Polygone sich überlappen, müssen Polygone geschnitten werden
  - n^2 mögliche Teile!
  - Beginne mit dem (Teil-)Polygon mit größtem z-Wert
- Komplexität:
  - $O(n^2)$
  - n ist Anzahl der Dreiecke

8.2 Projektion

Erste Verfahren

- Erste Lösung des Hidden-Line-Problems:
  Roberts, 1963:
  Objektraumverfahren für konvexe Objekte

- Appels Algorithmus (1967):
  Berechnet sichtbare Kanten/Konturen (NPR)

- Area Subdivision (divide-and conquer):
  Warnock, 1969: Ausnutzung von Flächenkohärenz durch Quadtrees

- Sample Spans:
  Watkins, 1970: Ausnutzung von Rasterzeilenkohärenz

8.2 Projektion

Erste Verfahren

- Depth List:
  Newell et al., 1972:
  Prioritätslistenalgorithmus im Objektraum

- Weiler-Atherton-Algorithmus (1977):
  Sortiert Polygone näherungsweise in der Tiefe

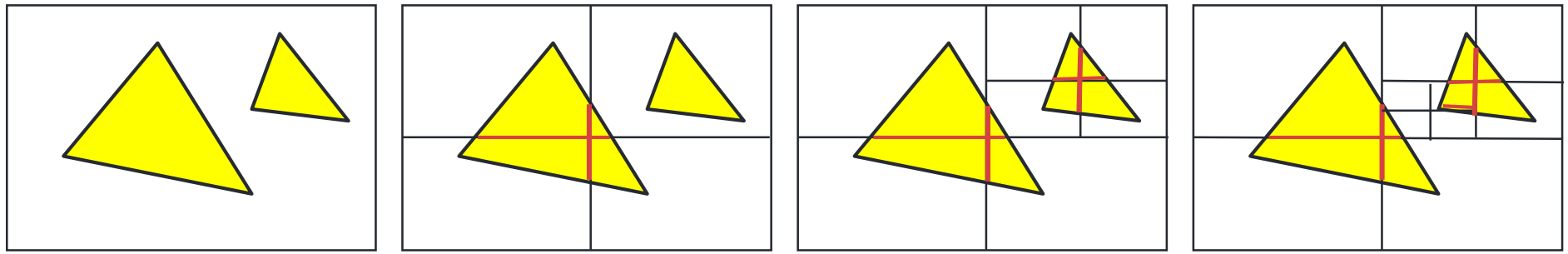
8.2 Projektion

Divide and Conquer [Warnock 1969]

- Einfache Fälle
  - Naheste Fläche überdeckt gesamten Rasterbereich
  - Es gibt maximal eine Fläche im Rasterbereich
- Ansonsten rekursive Unterteilung bis nur noch einfache Fälle auftreten
- Aufwand:
  - $O(n \cdot p)$
  - p: Anzahl der Pixel
  - n: Anzahl der Polygone
- Ggf. muss Unterteilung bis auf Pixelebene durchgeführt werden
  - Fast immer bei $n > p$ (große Szenen)
  - Entspricht dann dem Z-Buffer Algorithmus
    - aber mit Overhead

8.2 Projektion

Divide and Conquer [Warnock 1969]



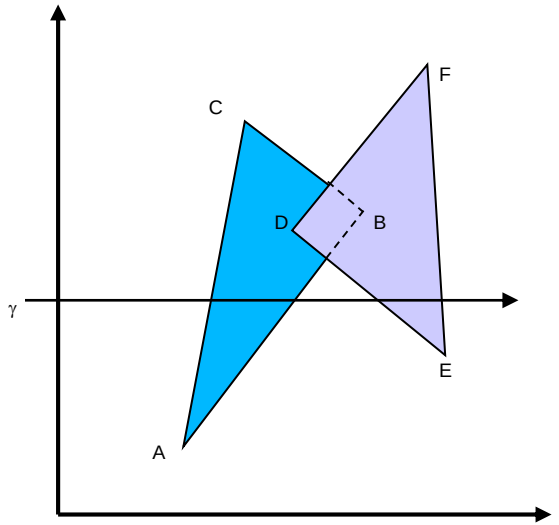
8.2 Projektion

Scanline/Sample Span [Watkins 1970]

- Suche nach Kanten entlang der y-Scanline γ
- Sortiere Kanten nach Tiefenwerten
- Datenstruktur
  - Kantentabellen
  - Polygontabellen
  - ActiveEdge-Tabellen (AET)
- Aktualisierung der AET für jede neue Scanline γ

- Scanline γ in AET:
  - P_1, P_2 Polygone

AC	AB	DE	FE
P_1 Ein	P_1 Aus	P_2 Ein	P_2 Aus



8.2 Projektion

Z-Buffer-Algorithmus

- [Straßer 1974, Catmull 1974]
- Bestimmt Sichtbarkeit von Pixeln (Bildraum)
- Geeignet für die Bildausgabe auf Rastergeräten
- Einfache Hardware-Unterstützung
- Arbeitsweise
  - Sucht für jeden Pixel bei Rasterung nach Polygon mit kleinstem (am weitesten vorne liegendem) z-Wert
  - Zusätzlicher Speicher
    - Z-Buffer
    - Depthbuffer
    - Speichere in jedem Pixel den bisher kleinsten aufgetretenen z-Wert

8.2 Projektion

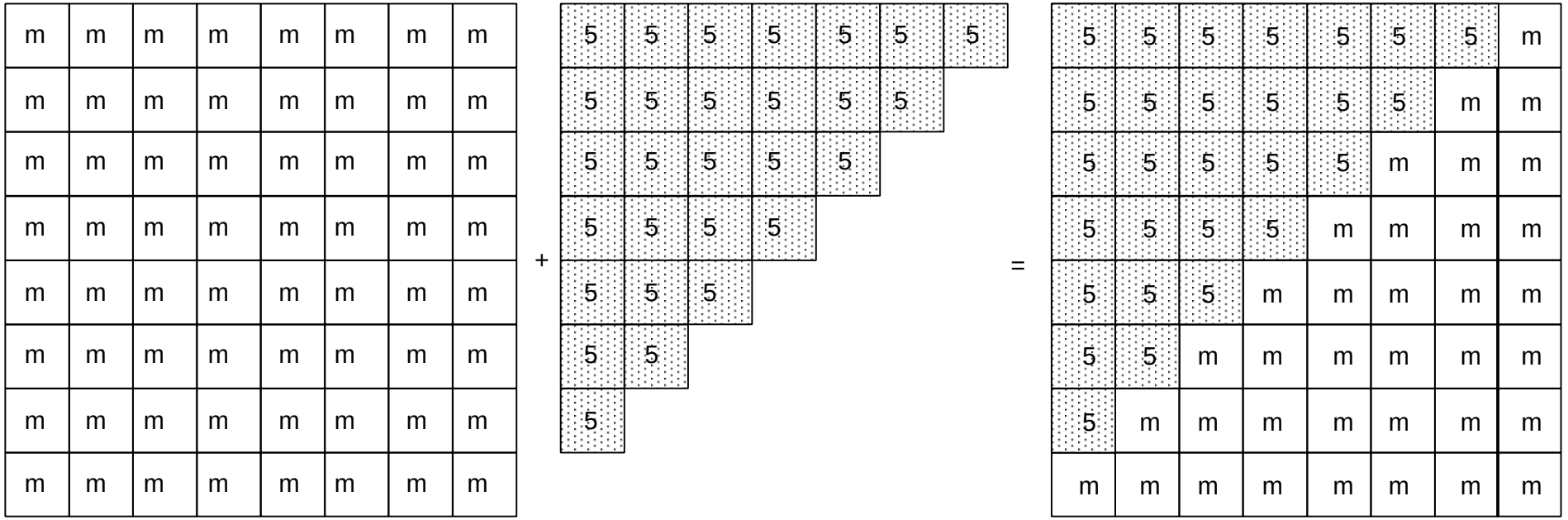
Z-Buffer-Algorithmus

- Initialisiere Framebuffer (Farbbuffer) mit Hintergrundfarbe
- Initialisiere Z-Buffer mit maximalem z-Wert
- Scan-Conversion aller Polygone in beliebiger Reihenfolge
  - Berechne z-Wert für jedes Pixel (x, y) im Polygon
  - $z < z_{Buffer}$:
    - zeichne Polygonfarbe in Farbbuffer bei (x, y) ein
    - setze $z_{Buffer} = \mathrm{z}$
- Am Ende enthält
  - der Farbbuffer das gewünschte Bild
  - der z-Buffer dessen Tiefenverteilung

8.2 Projektion

Z-Buffer-Algorithmus

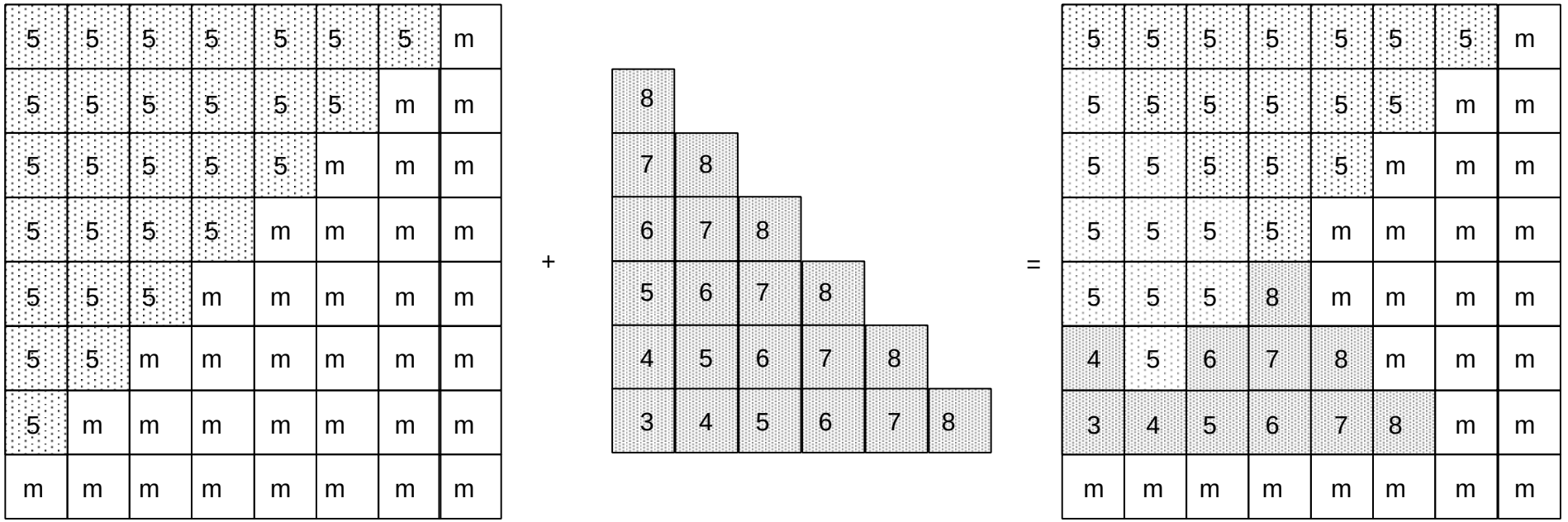
- z-Werte codiert durch Zahlen: kleinere Zahl $\rightarrow$ näher am Auge
- Initialisiere Z-Buffer mit z-Wert m (ganz hinten)
- Addiere ein Polygon mit konstantem z-Wert 5



8.2 Projektion

Z-Buffer-Algorithmus

- Addiere ein Polygon, welches das 1. Polygon schneidet
- Artefakte bei Pixeln mit gleichem z-Wert beider Polygone



8.2 Projektion

Z-Buffer-Algorithmus

- Zur Berechnung von $z(x, y)$ für ebene Polygone (z.B. Dreiecke) entlang einer Scan-Line
  - Ebene: $Ax + By + Cz + D = 0$
  - $z(x, y) = -\frac{D+Ax+By}{C}$
  - $$\begin{aligned} z(x + \Delta x, y) &= -\frac{D+A(x+\Delta x)+By}{C} \\ &= z(x, y) - \Delta x \cdot \frac{A}{C} \end{aligned}$$
- Nur eine Subtraktion ist notwendig
  - $\frac{A}{C}$ ist konstant
  - $\Delta x = 1$

Z-Buffer-Algorithmus: Vorteile

- sehr einfache Implementierung des Algorithmus
- keine besondere Reihenfolge oder Sortierung notwendig
- keine Komplexitätsbeschränkung der Bildszene
- unabhängig von der Repräsentation der Objekte; es muss nur möglich sein, zu jedem Punkt der Oberfläche einen z-Wert zu bestimmen
- Auflösung des Z-Buffers bestimmt Diskretisierung der Bildtiefe
  - 20 Bit $\rightarrow 2^{20}$ Tiefenwerte unterscheidbar

8.2 Projektion

Z-Buffer-Algorithmus: Nachteile

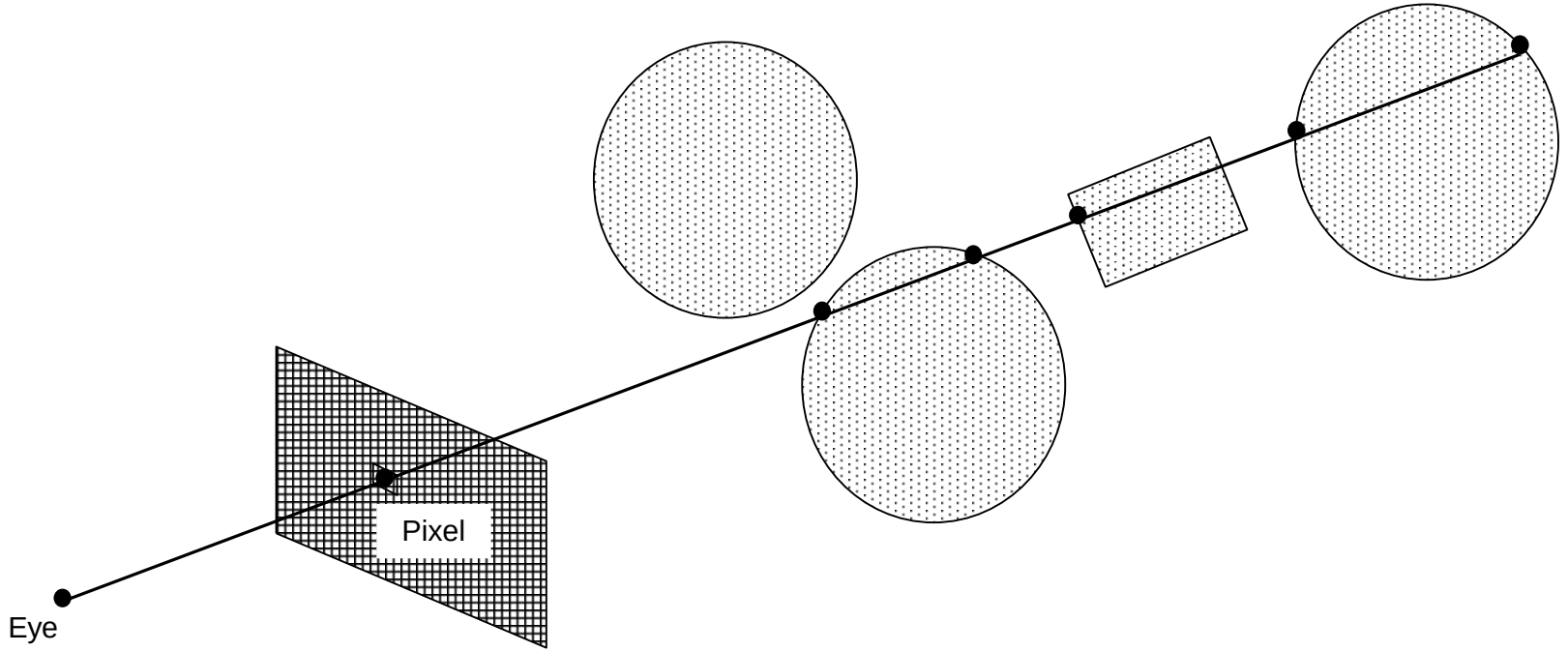
- problematisch sind weit entfernte Objekte mit kleinen Details (perspektivische Transformation)
- Aufwändige Modifikationen notwendig für
  - Transparenz (Alpha-Buffering)
  - Antialiasing

8.3 Strahlverfolgung

- RayCasting
  - Sendet (to cast) Strahlen (ray)
    - vom Auge
    - durch alle Pixel der Bildebene
    - in den Objektraum
  - Polygon opak
    - addiere Farbwert hinzu
    - stopp
  - Polygon transparent
    - addiere Farbwert hinzu
    - stopp
- RayTracing
  - RayCasting
  - Farbwert
    - Wie RayCasting
    - Verfolge reflektierte Strahlen
    - Verfolge gebrochene Strahlen
  - globales Beleuchtungsmodell

8.3 Strahlverfolgung

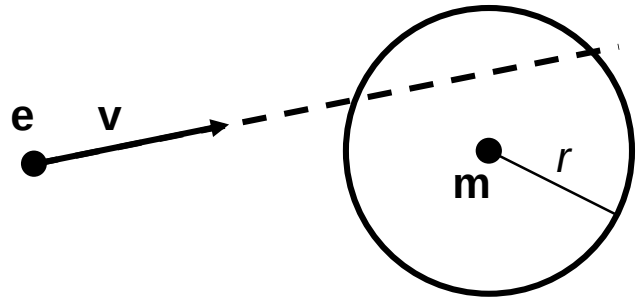
- Berechne Schnittpunkte mit allen Objekten der Szene
- Objekt mit dem nächst gelegenem Schnittpunkt ist in diesem Pixel sichtbar



8.3 Strahlverfolgung

Schnitt des Strahls mit einer impliziten Kugel

- Strahl
  - e: Augpunkt
  - v: Sichtrichtung (Pixel $- e$)
  - t: Strahlparameter
  - $r(t) = e + t \cdot v$
- Kugel
  - $\|x - m\|^2 - r^2 = 0$

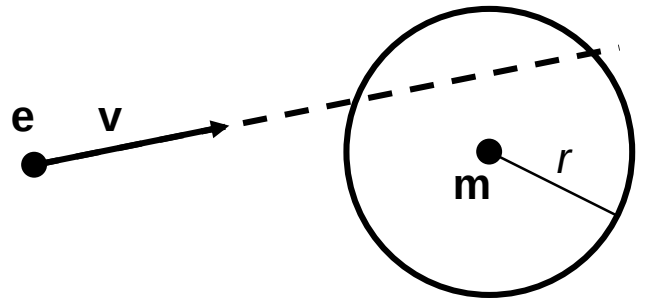


8.3 Strahlverfolgung

Schnitt des Strahls mit einer impliziten Kugel

– Einsetzen des Strahls $r(t)$ für x liefert:

$$\begin{aligned}
\|e + t \cdot v - m\|^2 - r^2 &= 0 \\
\|t \cdot v + (e - m)\|^2 - r^2 &= 0 \\
t^2 \cdot v \cdot v + 2 \cdot t \cdot v \cdot (e - m) + (e - m) \cdot (e - m) - r^2 &= 0 \\
(v \cdot v) \cdot t^2 + \big(2 \cdot v \cdot (e - m)\big) \cdot t + \big((e - m) \cdot (e - m) - r^2\big) &= 0
\end{aligned}$$



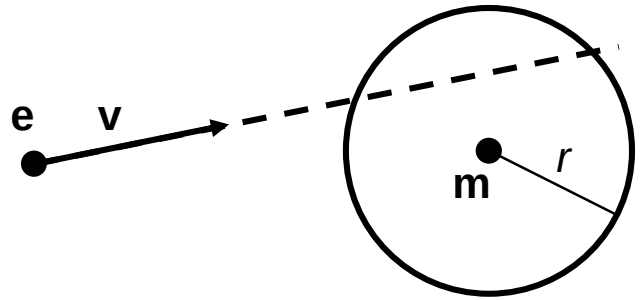
8.3 Strahlverfolgung

Schnitt des Strahls mit einer impliziten Kugel

- Lösen der quadratischen Gleichung nach t liefert die Parameter von maximal 2 Schnittpunkten

$$s_{1,2} = r(t_{1,2}) = e + t_{1,2} \cdot v$$

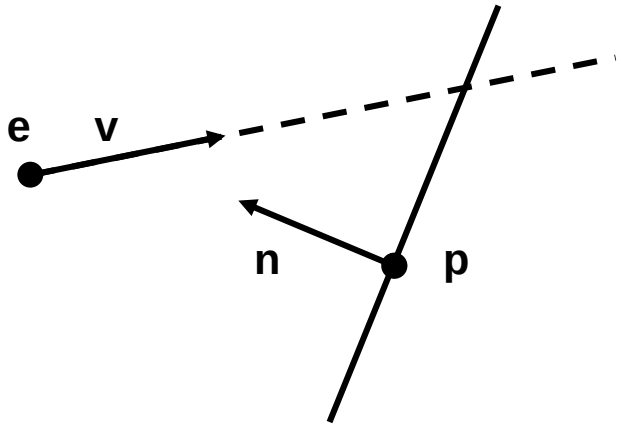
- Schnittpunkt mit kleinstem $t > 0$ liegt dem Augpunkt am nächsten



8.3 Strahlverfolgung

Schnitt des Strahls mit einer Ebene

- Strahl
  - e: Augpunkt
  - v: Sichtrichtung (Pixel $- e$)
  - t: Strahlparameter
  - $r(t) = e + t \cdot v$
- Ebene
  - p: Punkt der Ebene
  - n: Normalenvektor nach außen
  - $(x - p) \cdot n = 0$



8.3 Strahlverfolgung

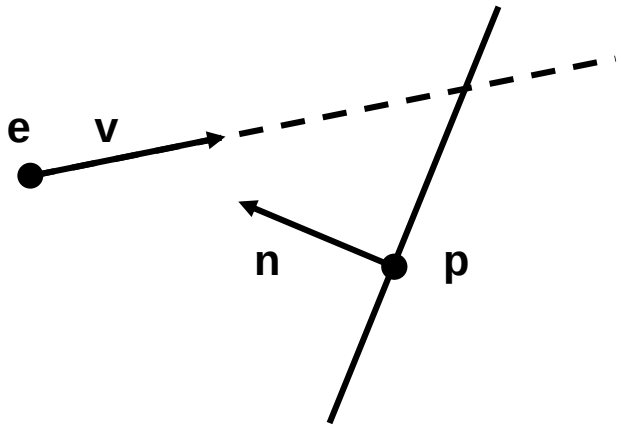
Schnitt des Strahls mit einer Ebene

- Einsetzen des Strahls $r(t)$ für x liefert:

$$\begin{aligned} (e + t \cdot v - p) \cdot n &= 0 \\ t \cdot v \cdot n + (e - p) \cdot n &= 0 \\ t &= \frac{(p - e) \cdot n}{v \cdot n} \end{aligned}$$

- Schnittpunkt

$$s = r(t) = e + t \cdot v$$



8.3 Strahlverfolgung

Schnitt des Strahls mit einer Ebene

- Beim Schneiden von Polygonen ist noch die Gültigkeit des Schnittpunktes zu verifizieren
- Dieser muss innerhalb des Polygons liegen
- Dreiecke
  - Bestimme Summe der Flächeninhalte der Teildreiecke
    - Ist diese Summe größer als der Flächeninhalt des ursprünglichen Dreiecks, so liegt der Punkt außerhalb
    - Achtung: Rundungsfehler!
  - Alternativ
    Bestimme die baryzentrischen Koordinaten des Dreiecks (a, b, c)

8.3 Strahlverfolgung

Baryzentrische Koordinaten

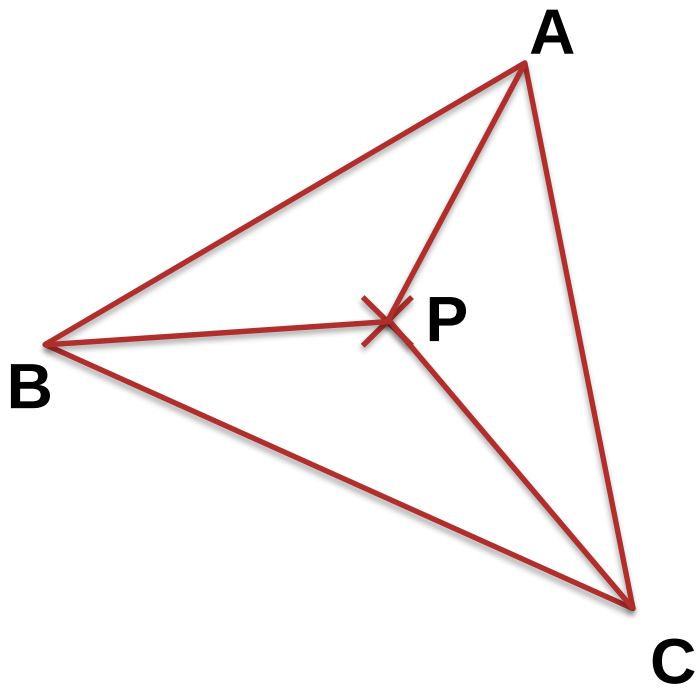
- Gegeben: Dreieck (A, B, C)
- Gesucht: Koordinaten von P bezüglich des Dreiecks (A, B, C)
- Ansatz:

$$P = \alpha \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot C$$

- Nebenbedingung:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

(Normalisierung)



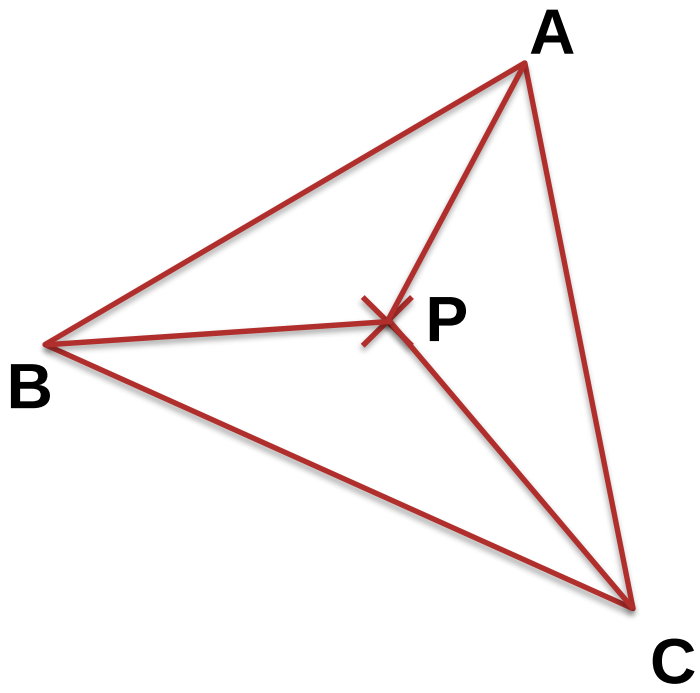
8.3 Strahlverfolgung

Baryzentrische Koordinaten

- $P = \alpha \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot C$
- Folgerungen:

$$A = (1,0,0)$$
$$B = (0,1,0)$$
$$C = (0,0,1)$$

  - $\alpha = 0, \beta + \gamma = 1$: Kante $B - C$
  - $\beta = 0, \alpha + \gamma = 1$: Kante $A - C$
  - $\gamma = 0, \alpha + \beta = 1$: Kante $A - B$
  - $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$: P liegt innerhalb
  - Sonst: P liegt außerhalb



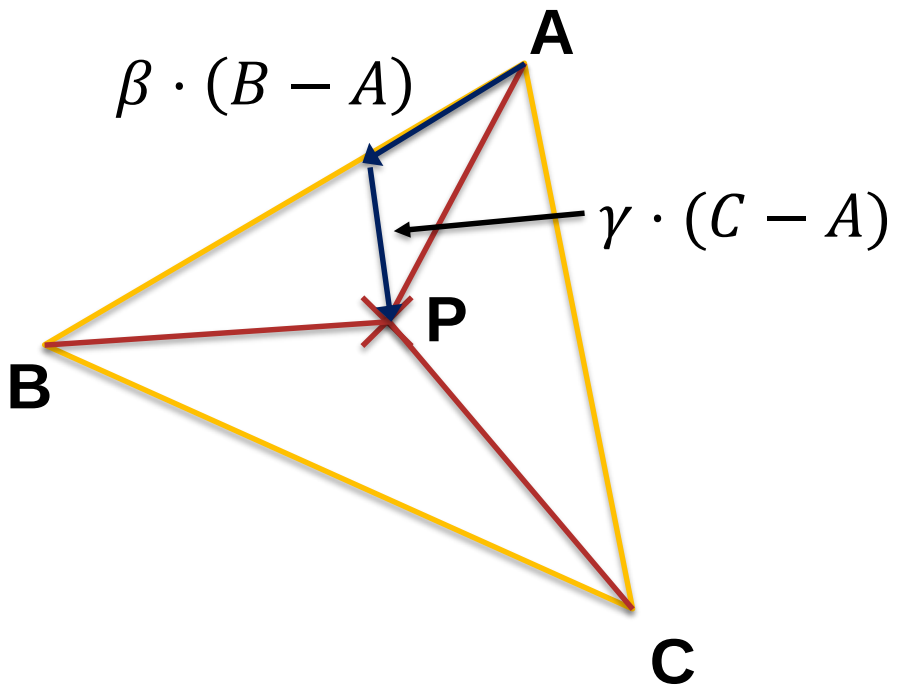
8.3 Strahlverfolgung

Baryzentrische Koordinaten

- $P = \alpha \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot C$

$$
\begin{aligned}
P &= \alpha \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot C \\
&= (1 - \beta - \gamma) \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot C \\
&= A + \beta \cdot (B - A) + \gamma \cdot (C - A)
\end{aligned}
$$

- Berechnung von (α, β, γ)



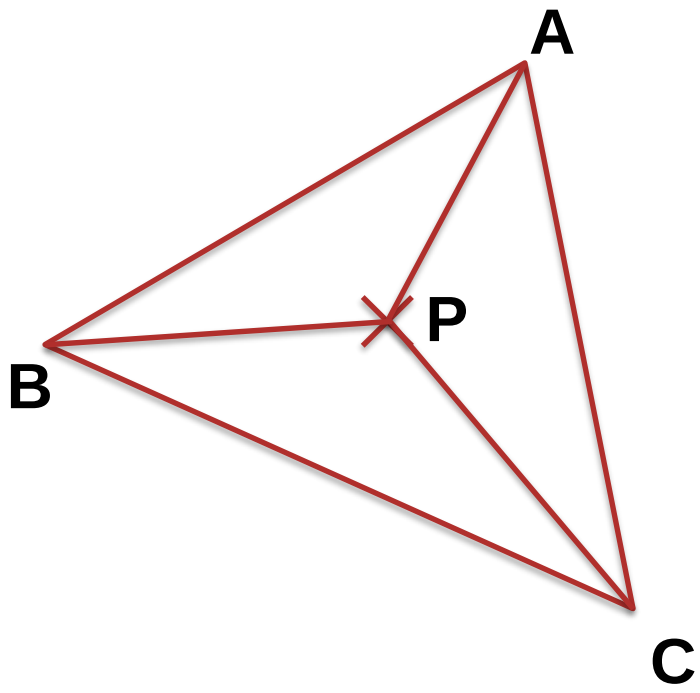
$$\alpha = \frac{\Delta(P, B, C)}{\Delta(A, B, C)}$$

$$\Delta(P, B, C) = \big((B - P) \times (C - P)\big) \circ \left(\frac{(B - A) \times (C - A)}{\|(B - A) \times (C - A)\|}\right)$$

8.3 Strahlverfolgung

Baryzentrische Koordinaten

- Effizientere Berechnung und Algorithmen:
  Christer Ericson.
  Real Time Collision Detection.
  Morgan Kaufman – Elsevier, 2005.



8.3 Strahlverfolgung

- Nachteile
  - 1 Strahl pro Pixel
    - Full HD: ca. 2 Millionen Strahlen
  - Schnitttests
    - jeder Strahl
    - jedes Objekt
  - Für typische Szenen:
    - bis zu 95% der Rechenzeit
- Beschleunigung
  - Vermeidung von unnötigen Schnitttests
    - Hierarchien von Bounding Volumes
      - Bounding Spheres
      - Bounding Boxes
      - Axis-Aligned Bounding Boxes
    - Raumteilung
    - Occlusion Culling

8.3 Strahlverfolgung

Hierarchien von Bounding Volumes

- Baumartige Strukturen von Bounding Volumes
  - Blätter: Objekte der Szene (Geometrie)
  - Innere Knoten: Bounding Volumes um die Objekte der Unterbäume
- Schneidet ein Strahl das Bounding Volume eines inneren Knotens nicht, so entfällt ein Test der untergeordneten Teilbäume
- Generierung guter Hierarchien ist schwierig
  - Geometrisch:
    Nach Szenenausdehnung unterteilen
  - Dichte:
    Nach Polygonschwerpunkten sortieren und unterteilen
  - Verwendung des Szenengraphen möglich

8.4 Raumteilungsverfahren

- Auch Space-Subdivision-Techniques genannt
- Der Objektraum wird in disjunkte Teilräume zerlegt
- Für jedes Objekt wird bestimmt, in welchen Teilräumen es sich befindet

- Standardverfahren
  - Unterteilung des Raumes durch ein festes, regelmäßiges Gitter in Zellen identischer Geometrie
  - 2D: Pixel (Picture Element)
    - Quadrate
  - 3D: Voxel (Volume Element)
    - Würfel

8.4 Raumteilungsverfahren

- Vorteile
  - Es ist sehr einfach zu bestimmen, welche Objekte (teilweise) in einem Voxel liegen
  - Ist das Voxel leer wird keine Schnittberechnung durchgeführt
  - Sonst: teste nur Objekte die in diesem Voxel liegen
- Nachteile
  - Auflösung von n Voxeln in jeder Dimension: n^3 Voxel

  $\Rightarrow$ günstigere Repräsentation durch Octrees

8.4 Raumteilungsverfahren

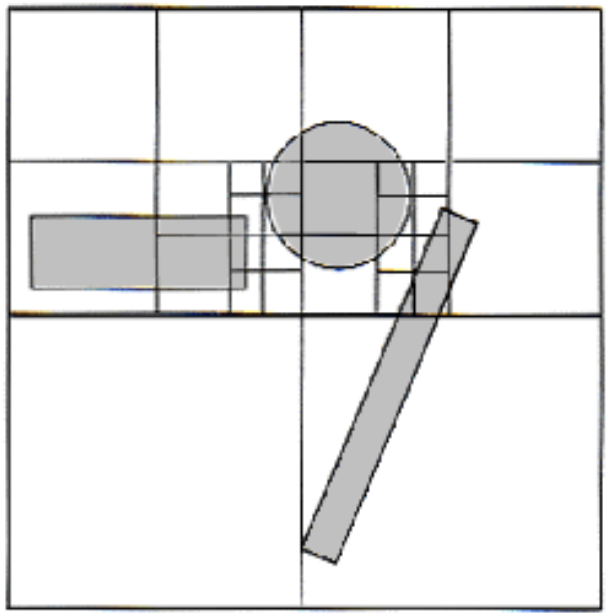
Quadtrees

- Erstes Auftreten: Ende der 1960er Jahren
- Octrees sind eine Erweiterung von Quadtrees
  - Ende 1970er, Anfang 1980er
- Unterteilung einer Ebene
- Erzeuge Quadrat, welches alle Objekte enthält (Wurzel)
- Rekursive Zerlegung
  - Enthält das Quadrat zu viele Objekte
    - Zerlege das Quadrat in vier Teile
    - Sortiere Objekte in Teilquadrate ein
  - Sonst $\rightarrow$ Stopp
- Jeder innere Knoten des Baumes besitzt genau vier Kinder

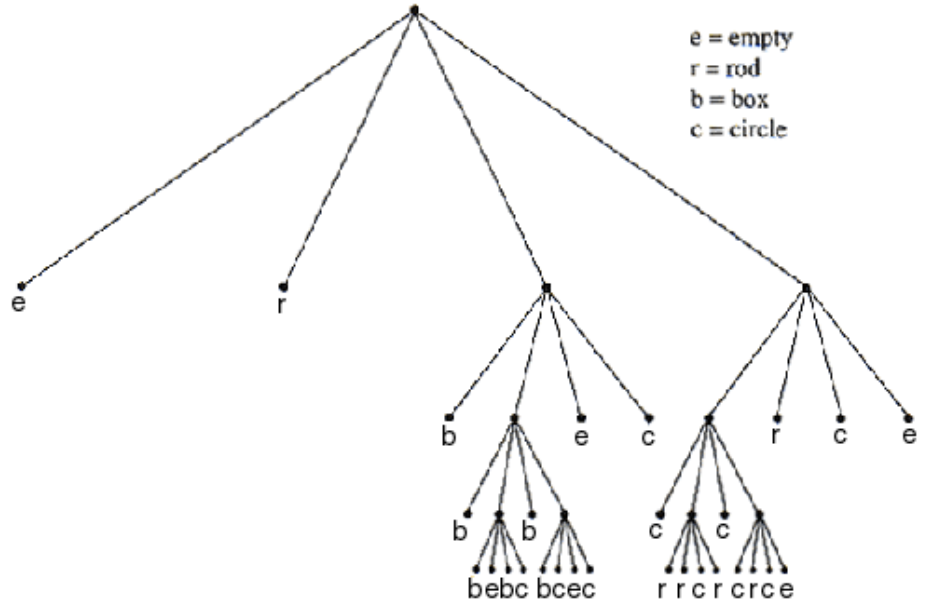
8.4 Raumteilungsverfahren

Quadtrees

- Unterteilung des Raumes, bis die Zellen maximal eine Objektreferenz enthalten



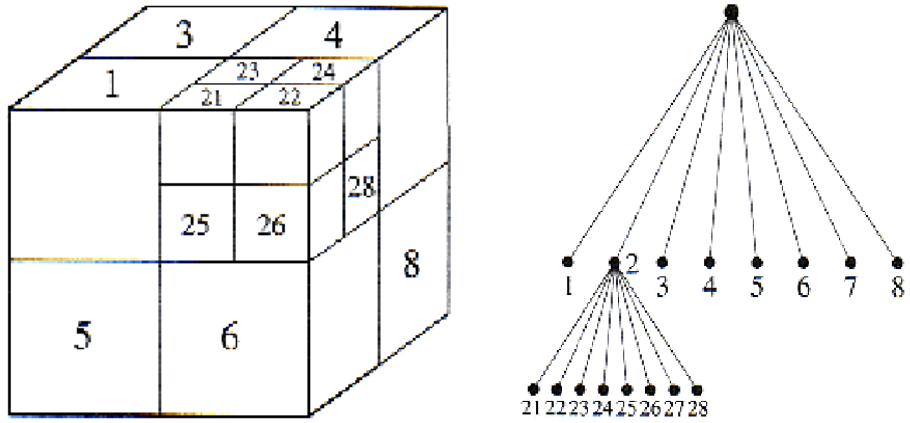
- Zugehörige Quadtree-Datenstruktur, vier Generationen



8.4 Raumteilungsverfahren

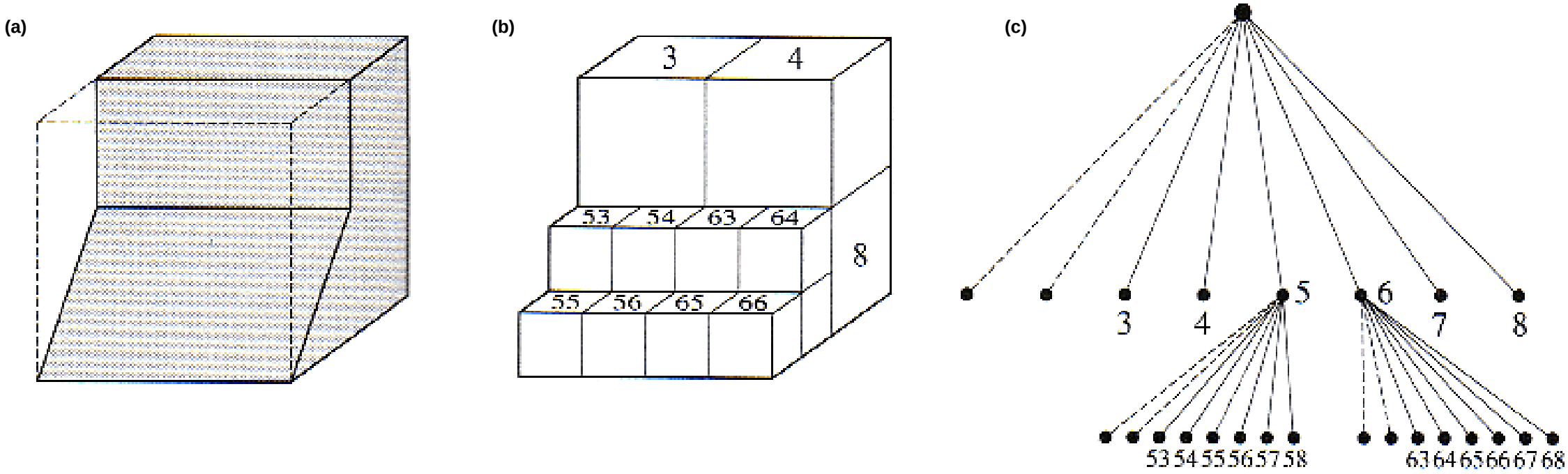
Octrees

- Unterteilung des 3D-Raums analog dem Quadtree
- Erzeuge Würfel, der alle Objekte enthält (Wurzel)
- Rekursive Zerlegung
  - Enthält der Würfel zu viele Objekte
    - Zerlege den Würfel in acht Teile
    - Sortiere Objekte in Teilwürfel ein
  - Sonst → Stopp
- Jeder innere Knoten des Baumes besitzt genau acht Kinder



8.4 Raumteilungsverfahren

Octrees



8.4 Raumteilungsverfahren

n-ary trees

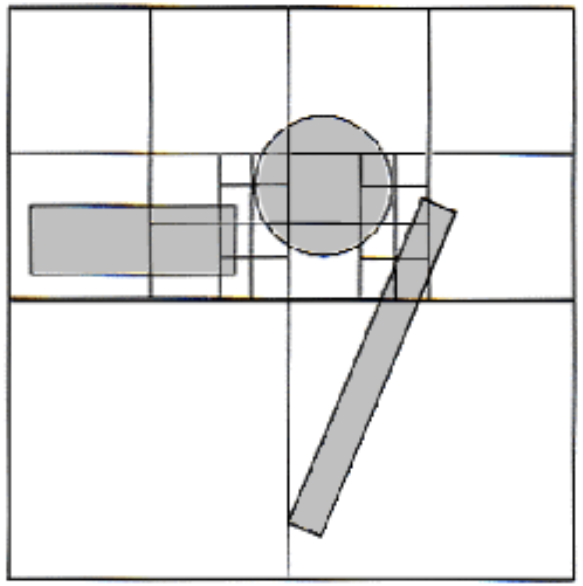
- Verallgemeinerung auf n Dimensionen
- Muss keine feste Unterteilungsstrategie repräsentieren

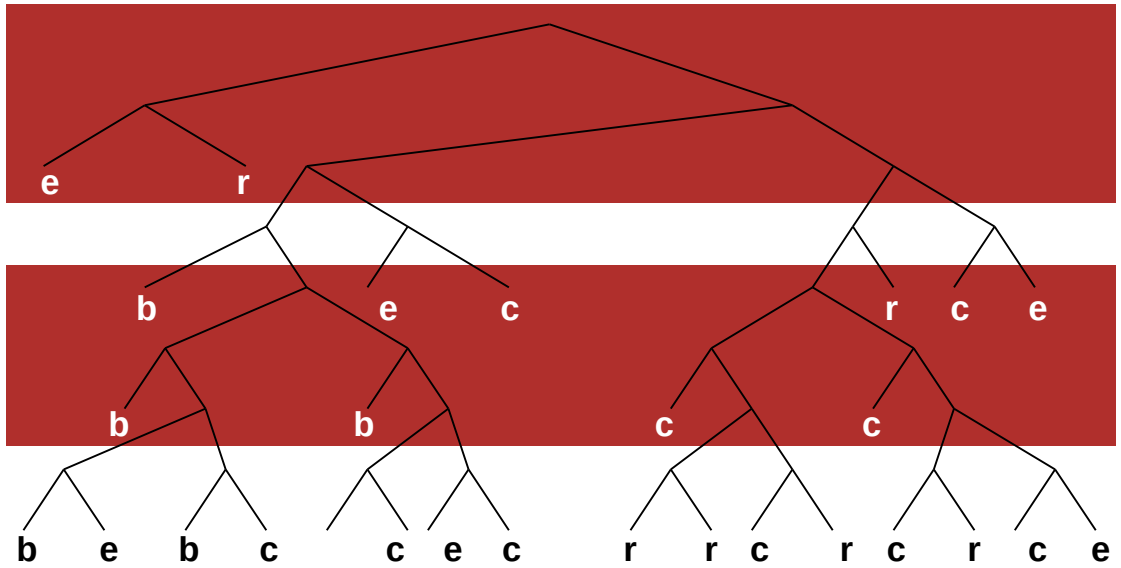
- Für den Fall $n = 1$
  - kD-Tree
  - Elternknoten hat bis zu zwei Kinder
- Für den Fall $n = 2$
  - Quadtree
- Für den Fall $n = 3$
  - Octree

8.4 Raumteilungsverfahren

kD-Tree

- Unterteilung des Raumes, bis die Zellen maximal eine Objektreferenz enthalten
- zugehörige kD-Tree-Datenstruktur
  - acht Generationen



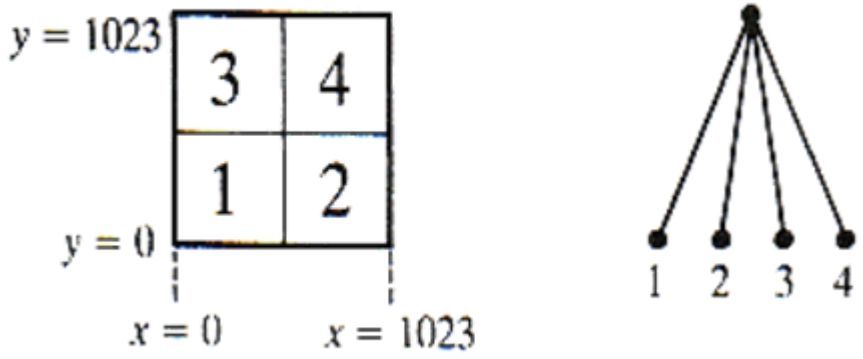


e = empty
r = rod
b = box
c = circle

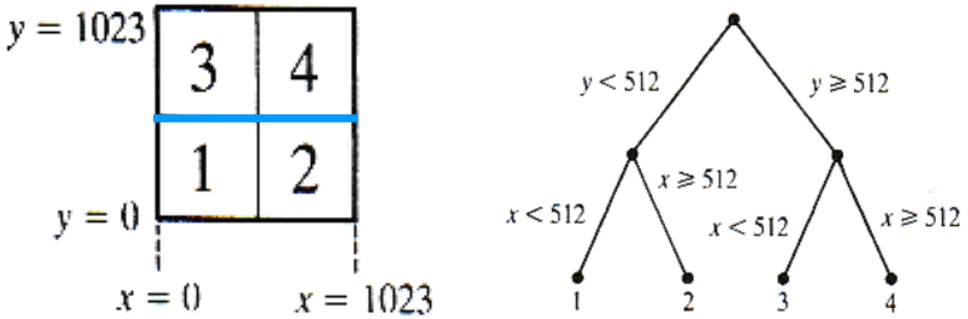
8.4 Raumteilungsverfahren

Unterteilung einer 2D-Szene

- Quadtree



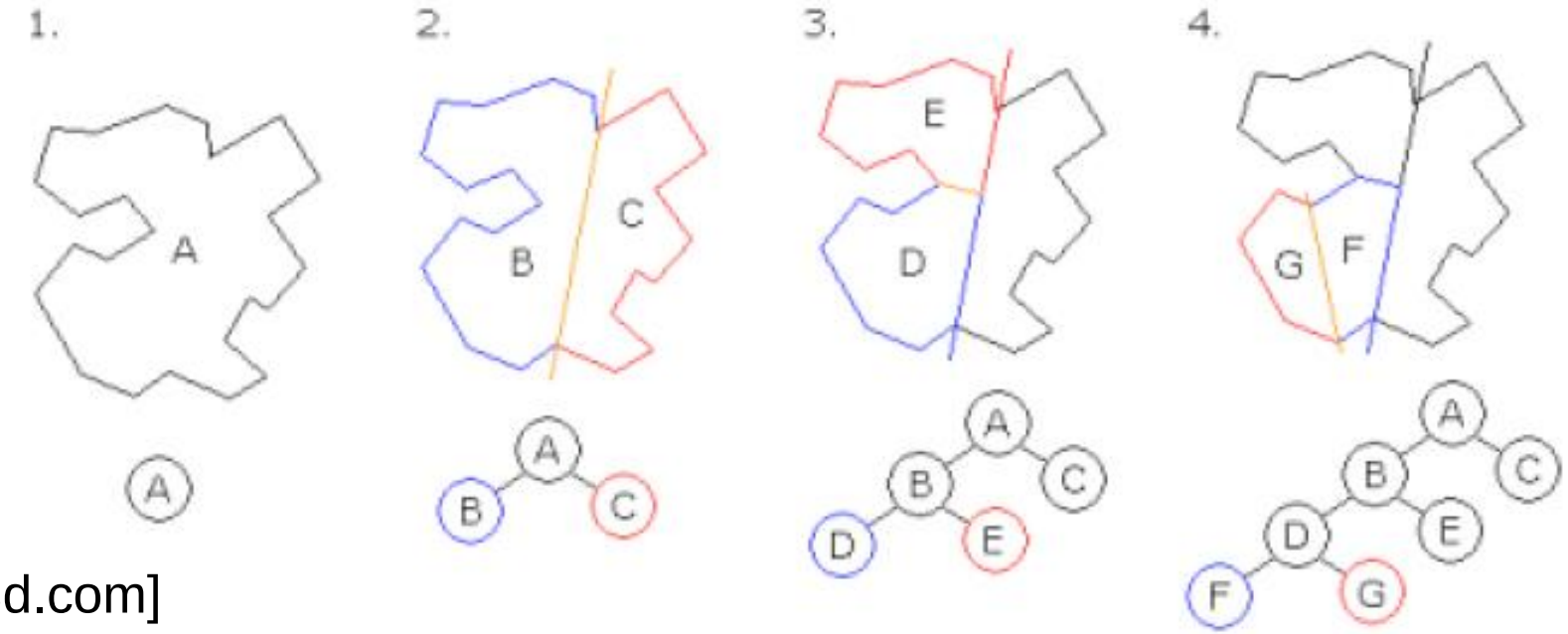
- kD-Tree



8.4 Raumteilungsverfahren

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

- Octrees, Quadtrees und kD-Trees
  - Achsen-parallele Unterteilung
  - gleichzeitig oder abwechselnd
- BSP-Trees
  - Unterteilung durch beliebige (Hyper-)Ebene in zwei Unterräume



[www.beyond3d.com]

8.4 Raumteilungsverfahren

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

- Können zur Unterteilung von Szenen verwendet werden
- Sind an kein Raster gebunden
- Über die relative Lage der Regionen zum Betrachter kann die Tiefenstaffelung der Objekte bestimmt werden
  - Welche Objekte können sichtbar sein?
- Eine ideale Wahl der Unterteilungsebene für BSP-Bäume liefert die PCA (Principal Component Analysis)
- Angenommen, eine komplexe Szene ist gegeben durch die Punktewolke $P_i \in \mathbb{R}^2$, $(i = 1, \dots, n)$ (z.B. Objektmittelpunkte oder Eckpunkte der Polygone)
- PCA liefert ein orthogonales Koordinatensystem e_1, e_2, e_3 dessen Ausrichtung der Punktwolke entspricht

8.4 Raumteilungsverfahren

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

- Wähle als Ursprung den Mittelwert

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

- Konstruiere Matrix der Punktwolke

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

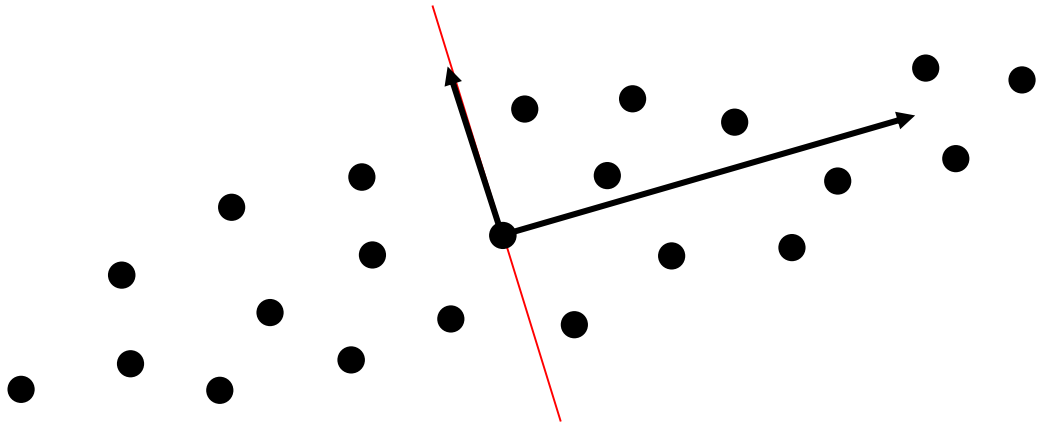
- Berechne
  - $B = \frac{1}{n-1} A^T A$
  - $b_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n} a_{ki} a_{kj}$

- B hat
  - Reelle Eigenwerte $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$
  - Eigenvektoren e_1, e_2, e_3
  - $\lambda_i \cdot e_i = B \cdot e_i$

8.4 Raumteilungsverfahren

Binary Space-Partitioning Trees (BSP-Bäume)

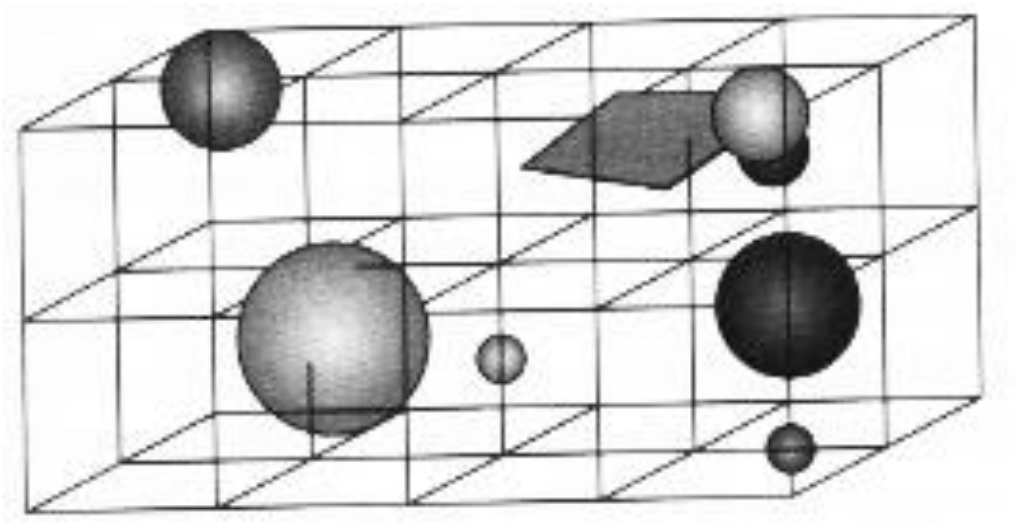
- Die Eigenvektoren bilden zusammen mit dem Ursprung c das gesuchte System
- Die Ausdehnung der Punktwolke in Richtung e_i ist proportional zu $\sqrt{\lambda_i}$



8.4 Raumteilungsverfahren

Ray-Casting

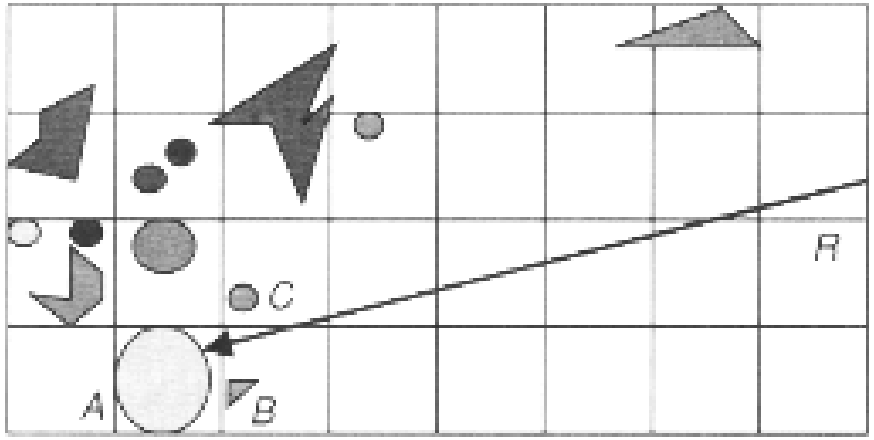
- Für das Raycasting wird der Raum zunächst unterteilt
- Dann werden die Objekte in die Teilräume einsortiert



8.4 Raumteilungsverfahren

Ray-Casting

- Der Strahl läuft zum ersten Teilraum
- Ist der Teilraum leer
  - keine Schnittberechnung notwendig
- Enthält der Teilraum Objekte
  - Schnitttest mit allen enthaltenen Objekten
  - Schnitt
    - Fertig
  - Kein Schnitt
    - Betrachte nächsten Teilraum in Richtung der Strahls



8.5 Culling

- Culling: Entfernung nicht sichtbarer Objekte
- Große Szenen: Anzahl sichtbarer Objekte ≪ Anzahl aller Objekte
- Zielsetzung
  - Zeitersparnis bei der Schnittpunktberechnung
  - Entfernung offensichtlich nicht sichtbarer Objekte
- Test muss erheblich „billiger“ sein als Test der Sichtbarkeit

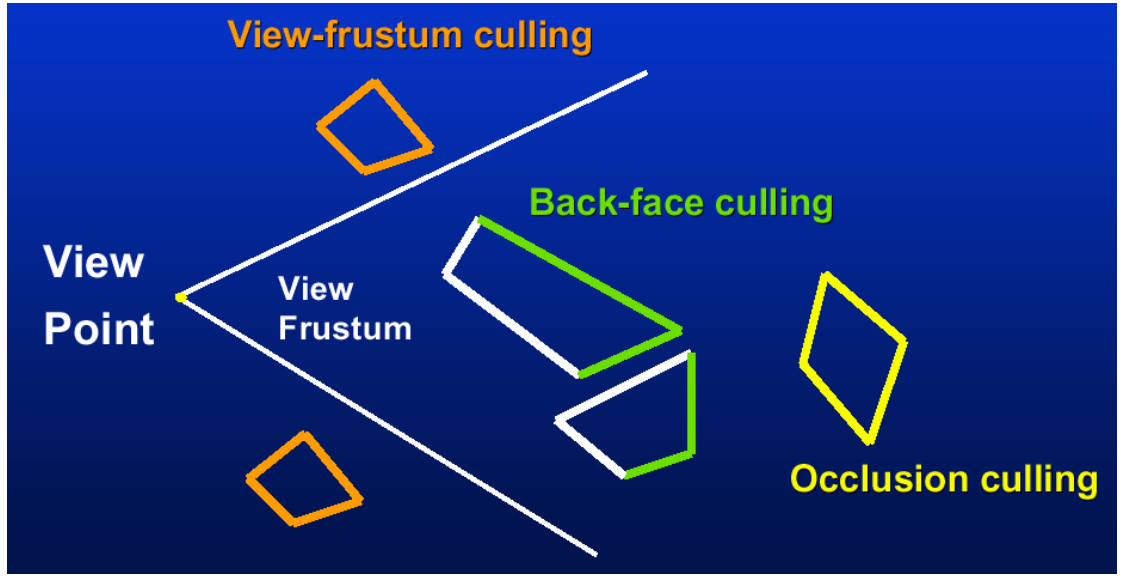
8.5 Culling

Arten

- Backfrace-Culling
  Normale zeigt nach hinten
  (wir sehen die Rückseite)

- View-Frustum-Culling
  Das Objekt liegt außerhalb des Blickfeldes

- Occlusion-Culling
  Das Objekt liegt hinter einem anderem Objekt

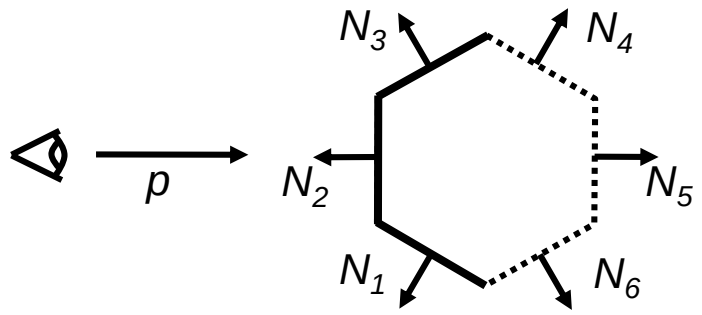


8.5 Culling

Backface-Culling

- Rückseiten von undurchsichtigen Objekten nicht sichtbar
  - Orientierung über Normalen kodiert: konsistente Berechnung wichtig
  - Bei Inkonsistenzen: Löcher in Objekten
- Wird von OpenGL unterstützt
- Sehr einfache Operation

- Klassifikation der Rückseiten
  - Normalenvektoren N_i aller Flächen
  - Normalenvektor N_i zeigt in Blickrichtung: Rückseite
    - Berechne Skalarprodukt aus Blickrichtungsvektor p und Normale N_i: $p \cdot N_i > 0$



8.5 Culling

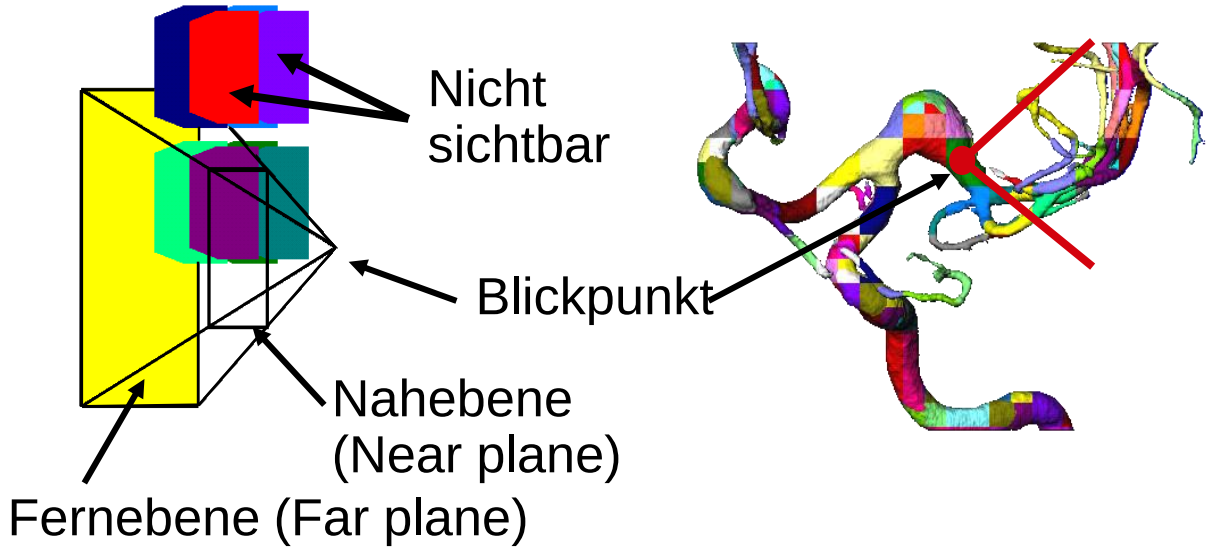
Backface-Culling: Eigenschaften

- Anzahl der Objektpolygone wird durch Entfernen der Rückseiten durchschnittlich um etwa die Hälfte reduziert
- Aufwand zur Berechnung des Skalarprodukts sehr gering
- Besteht die Szene nur aus einem einzelnen konvexenPolyeder, so löst Backface-Culling bereits das Sichtbarkeitsproblem!
- Bei konkaven Polyedern oder Szenen, an denen mehrere Objekte beteiligt sind, kann es zu Selbst- und/oder Fremdverdeckung kommen
  - Hier werden aufwändigere Verfahren benötigt

8.5 Culling

View-Frustum-Culling

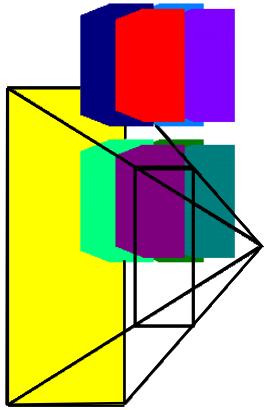
- Blickfeldtest
- Liegt Objekt (Bounding Volume) im Sichtvolumen (View Frustum)?

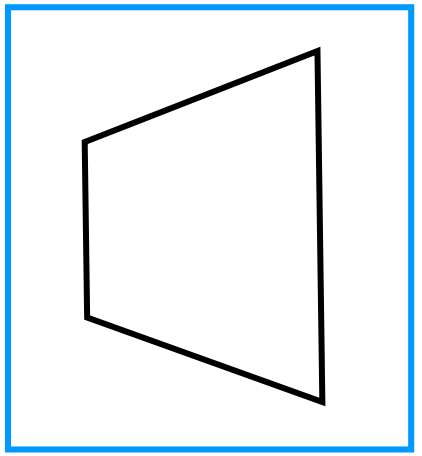


8.5 Culling

View-Frustum-Culling

- Berechnung
  - Schneide Bounding Volume mit dem View-Frustum
  - Einfach nach perspektivischer Transformation (Einheitswürfel)
  - Sonderfall: Bounding Volume umfasst View-Frustum
  - Hierarchischer oder linearer Test





8.5 Culling

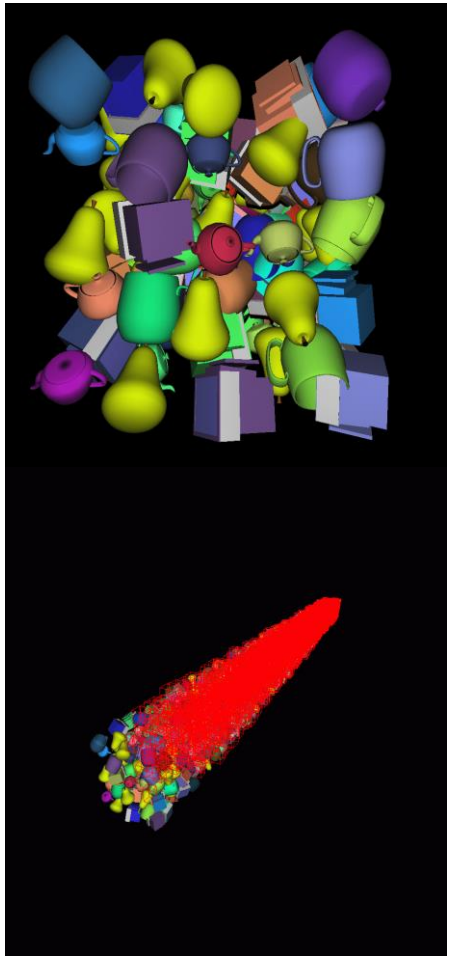
Occlusion-Culling

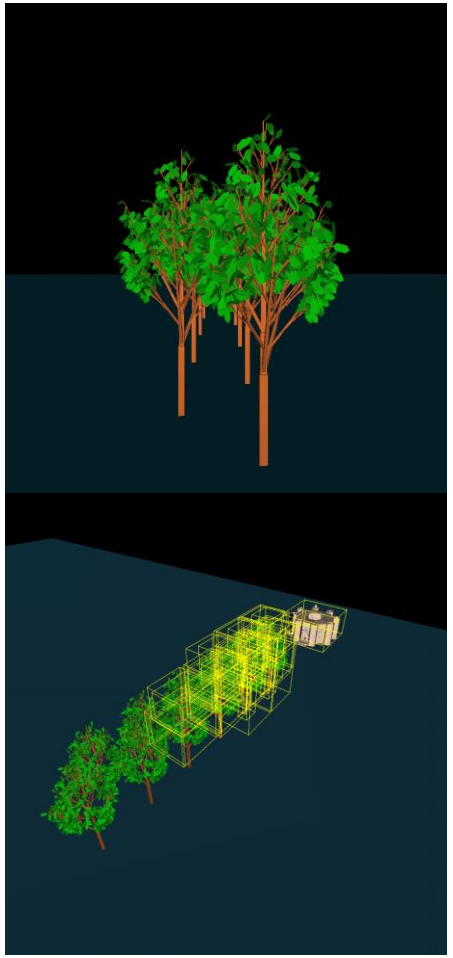
– Ist Geometrie von Geometrie verdeckt?

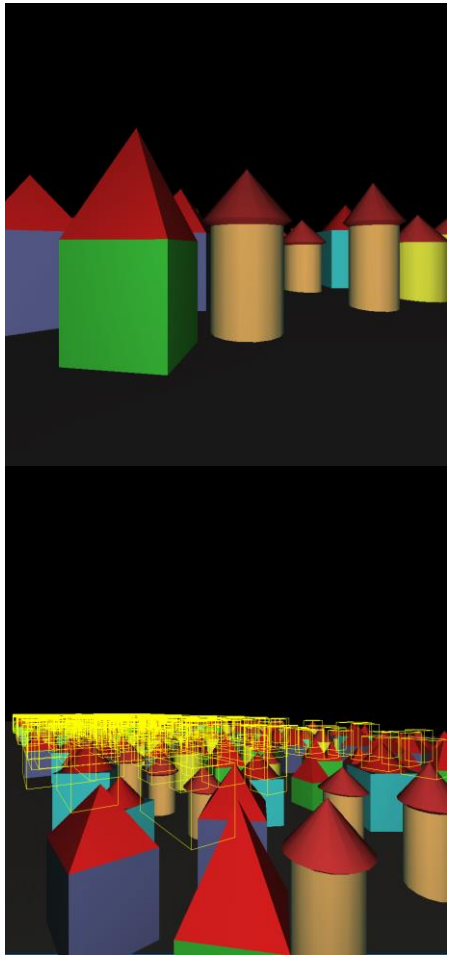
8.5 Culling

Occlusion-Culling

– Gelbe/rote Bounding Volumes sind verdeckt



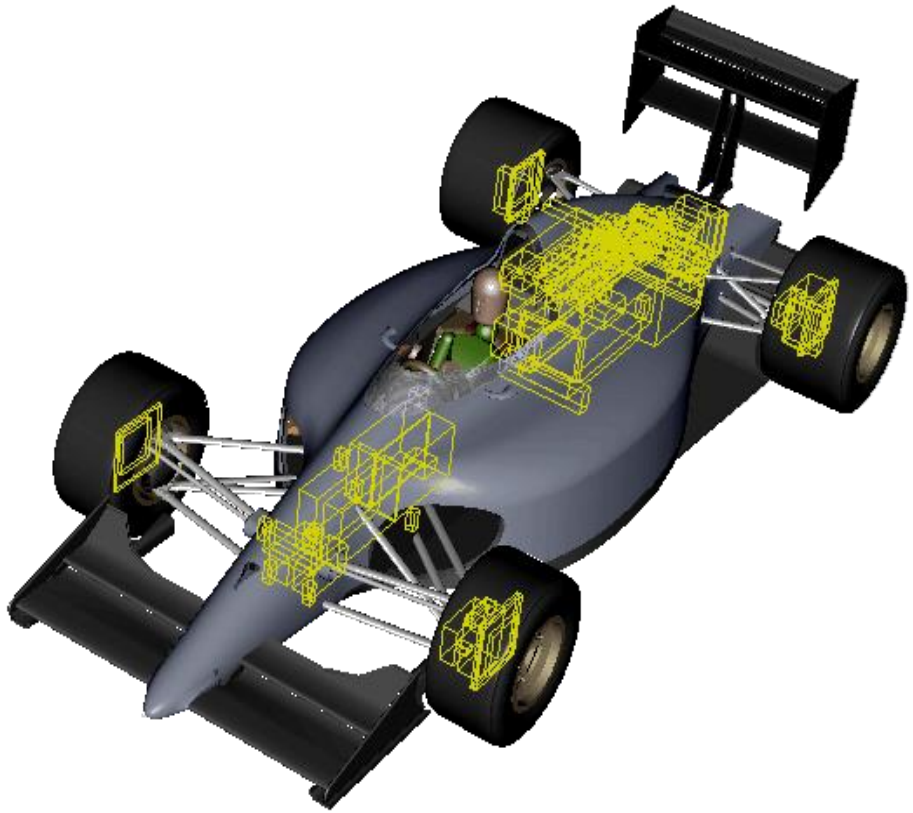




8.5 Culling

Occlusion-Culling

– Gelbe Bounding Volumes sind verdeckt



8.5 Culling

Occlusion-Culling

- Verdeckungstest
  - Wie wird Verdeckung erkannt?
  - Wo ändert sich etwas, wenn man das Objekt darstellen würde
- Objektraum und Bildraumverfahren
  - Hierarchical Z-Buffer (Greene 1993)
  - Hierarchical Occlusion Maps (Zhang 1997)
  - Virtual Occlusion Buffer (Bartz 1999)

8.5 Culling

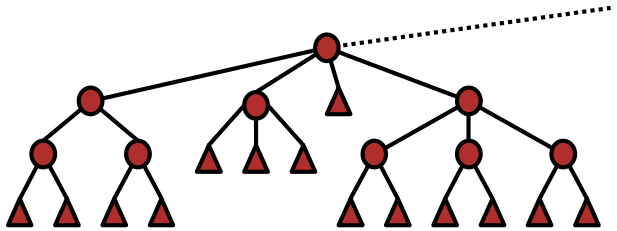
Occlusion-Culling

- Objekte von vorne nach hinten verarbeiten (Tiefensortierung)
- Verwende Bounding Volumes
  - Wenn die Hülle nicht sichtbar ist, dann auch nicht die in ihr eingeschlossene Geometrie
- Konservativ
  - Nicht exakt, aber immer auf der sicheren Seite
  - Objekte, die auf jeden Fall nicht sichtbar sind
  - Sonst darstellen
- Quantitativ/Approximativ
  - Nicht konservativ
  - Wenn nur ein geringer Anteil sichtbar ist, als verdeckt behandeln

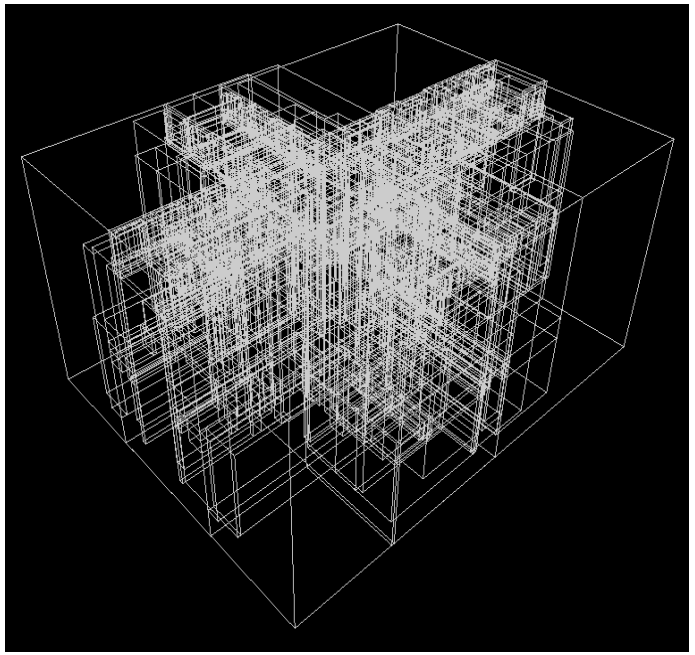
8.5 Culling

Occlusion-Culling

- Hierarchische Organisation
  - AABB-Hierarchie
  - Kathedrale

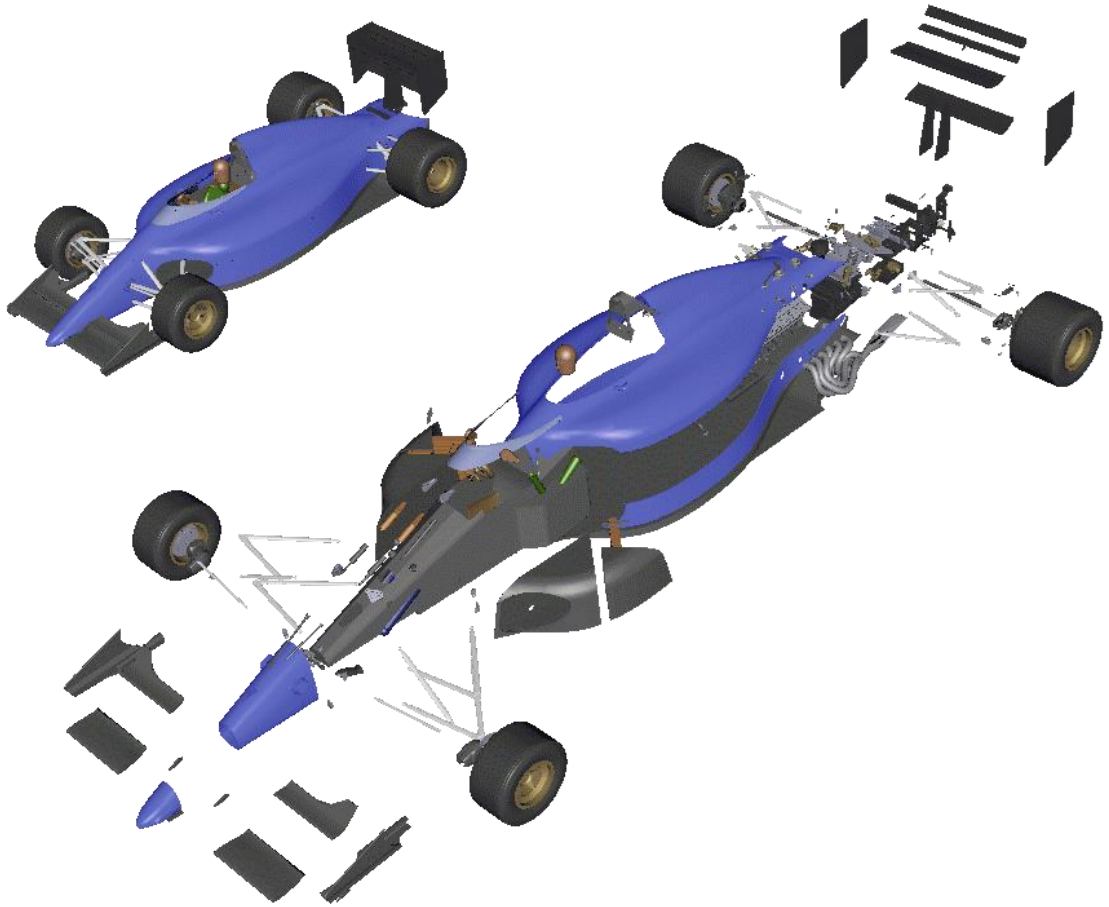


- **Innere Knoten**
- **Geometrieblätter**



8.5 Culling

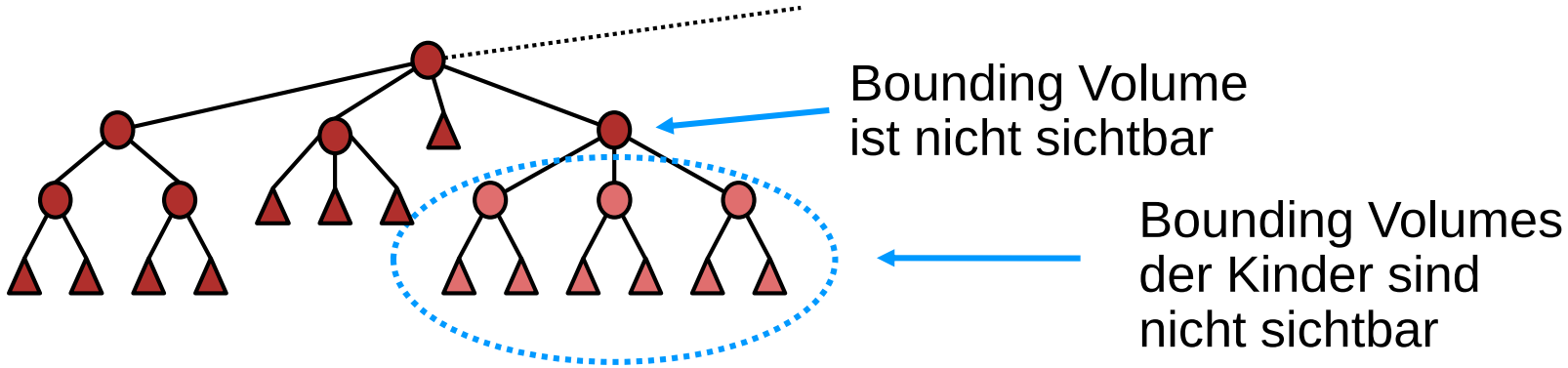
Occlusion-Culling



8.5 Culling

Occlusion-Culling

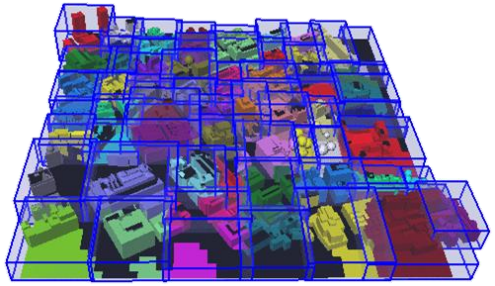
- Hierarchisches Culling testet Baum beginnend an der Wurzel
  - Nicht sichtbar: entferne Knoten
  - Sichtbar: stelle Objekte im Teilbaum dar
  - Unentschieden: teste Kindknoten



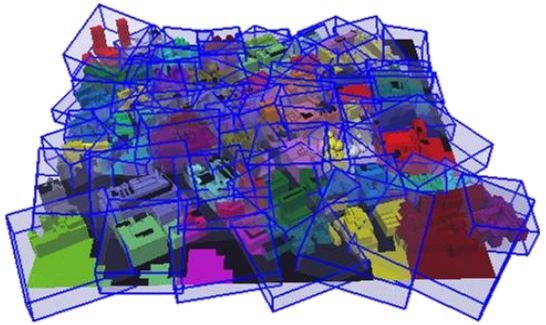
8.5 Culling

Occlusion-Culling

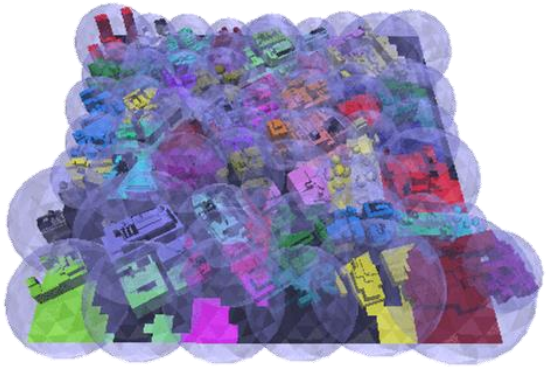
– Optimiere Hüllvolumen: Reduziere Falsch-Positive [Bartz 2001]



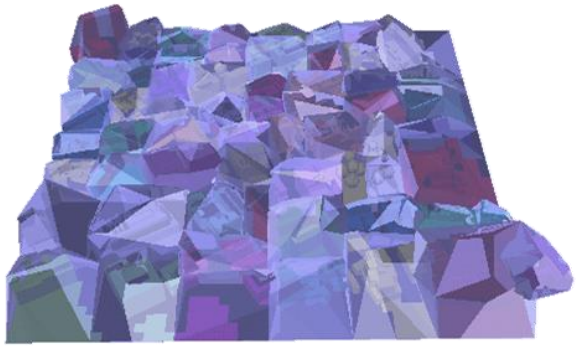
AABB



OBB



Bounding Spheres

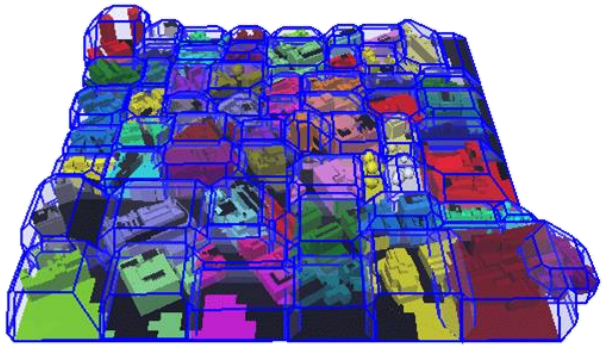


Konvexe Hüllen

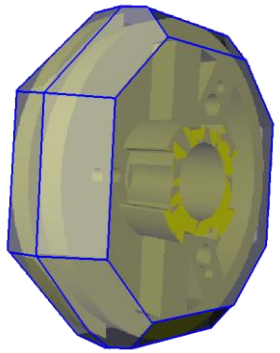
8.5 Culling

Occlusion-Culling

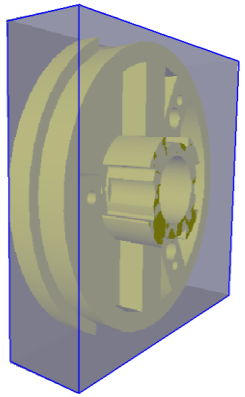
– Optimiere Hüllvolumen: Reduziere Falsch-Positive [Bartz 2001]



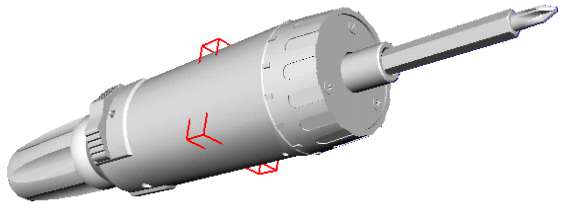
k-DOPs



26-dop



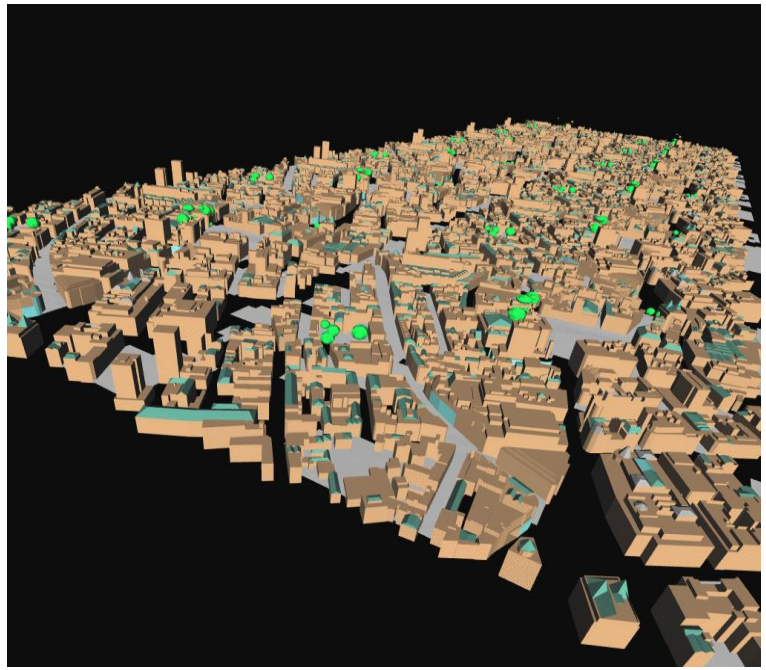
AABB

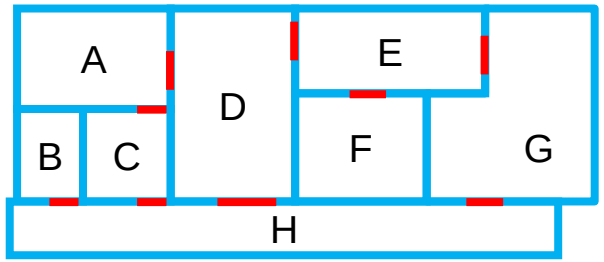


8.5 Culling

Occlusion-Culling

- Verdeckung in Stadtszenen
- Häuser haben feste Zimmer und Öffnungen: Cells and Portals
- Sichtbarkeit durch Portale bestimmt: PVS

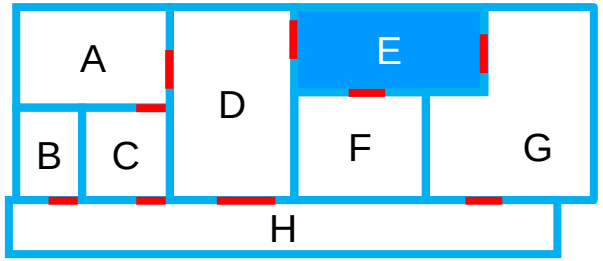


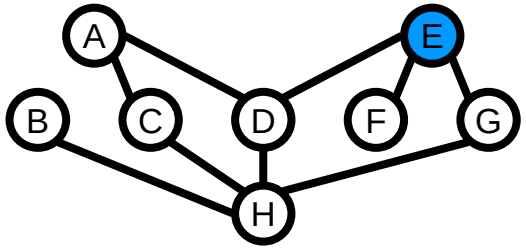


8.5 Culling

Occlusion-Culling

- Zellen und Portale
  - [Teller 1992, Luebke 1995]
  - Berechne Nachbarschaftsgraph zwischen Zellen (durch Portale)
  - Zelle ist nur dann sichtbar, wenn sie durch (eine Folge von) Portale(n) sichtbar ist: Sichtlinie

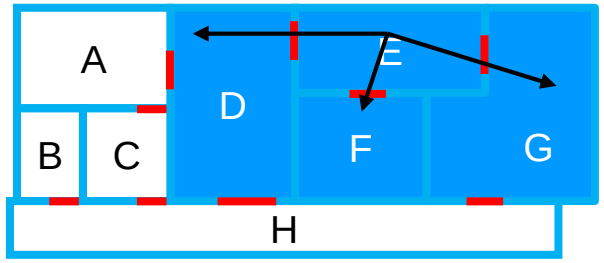


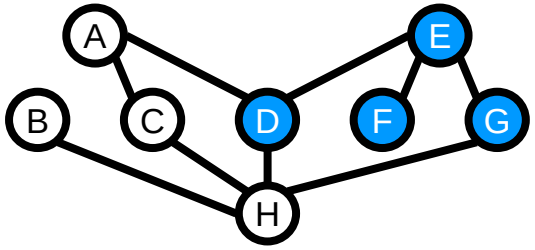


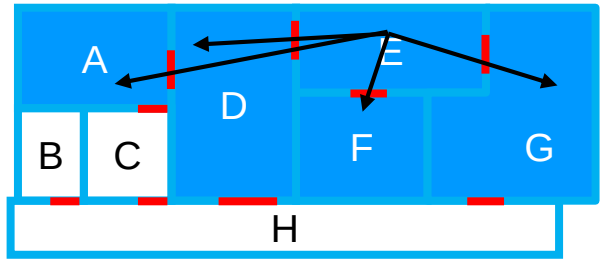
8.5 Culling

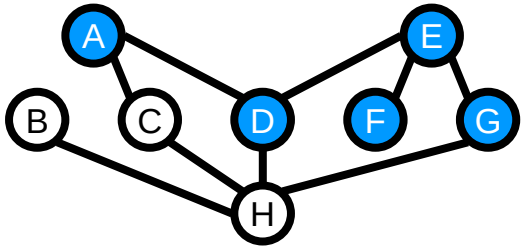
Occlusion-Culling

- Zellen und Portale
  - Speichere für jede Zelle alle möglicherweise sichtbaren Zellen
  - Potentially Visible Sets (PVS)
  - Sichtbarkeit für alle Standpunkte: AbstractGraph









8.5 Culling

Occlusion-Culling

- Für allgemeines OC sind Softwareverfahren zu teuer
  - 1998: Einführung HP OpenGL Extension Occlusion-Flag (fx4)
  - 2001: NVIDIA OpenGL Extension Occlusion-Query (NV 20)
  - 2003: Occlusion-Queries in OpenGL 1.5
- Hardware-Tests
  - Occlusion-Flag:
    Binäre Antwort, ob etwas sichtbar wird
  - Occlusion-Queries:
    Quantitative Antwort, wieviel sichtbar wird

8.5 Culling

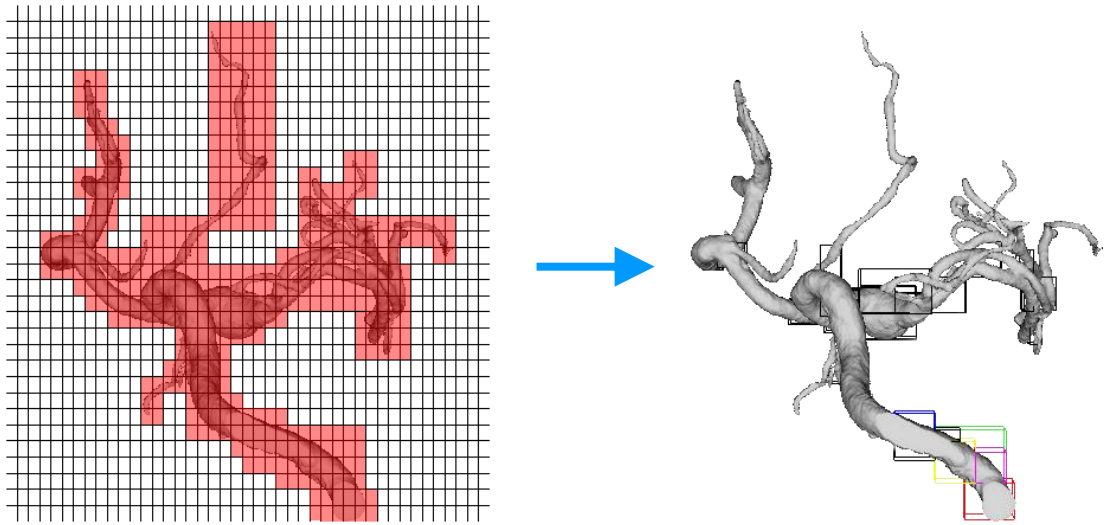
Occlusion-Culling

- Stop-and-Wait-Paradigma
  - Pro Frame, pro Objekt:
    - Teste Bounding Volume
    - Warte Occlusion-Antwort ab
    - Wenn sichtbar, zeichne assoziierte Geometrie
    - Sonst: entferne Objekt (culling)
  - Warten (Pipeline-Flush) führt zu Pipeline-Stall
- Multiple Queries
  - Gebündelte Queries
  - Wartet nicht auf Zwischenergebnisse
    - Kein Pipeline-Stall
  - Nutzt aber auch keine Zwischenergebnisse aus
  - Gesparte Stalls viel billiger als zu viel gerenderte Geometrie
    - 1/10, 1/20
  - Also: Vorsortierung in gegenseitig unabhängige Objekte (sich nicht gegenseitig verdeckend)

8.5 Culling

Occlusion-Culling

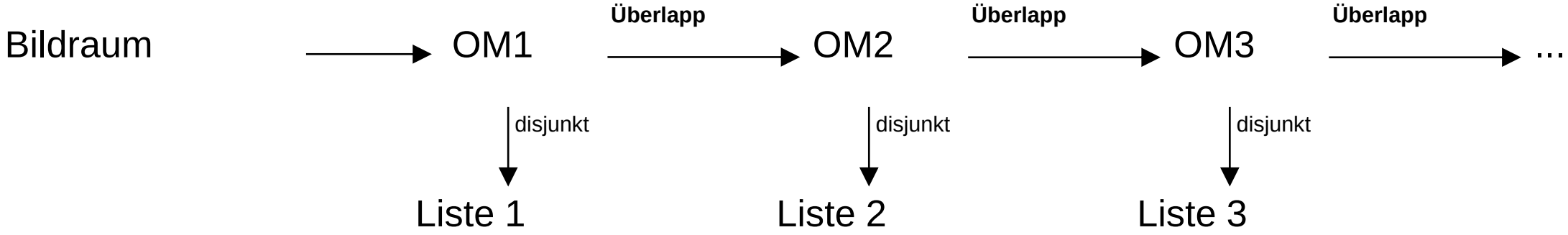
- Vorsortierung in gegenseitig unabhängige Objekte
  - OccupancyMap Hierarchie [Staneker 2003]
    - Nutze Kohärenz
    - Reduziere Falsch-Positive
    - Günstiger Vorab-Overlap-Test
    - Spart auch redundante Occlusion-Queries



8.5 Culling

Occlusion-Culling

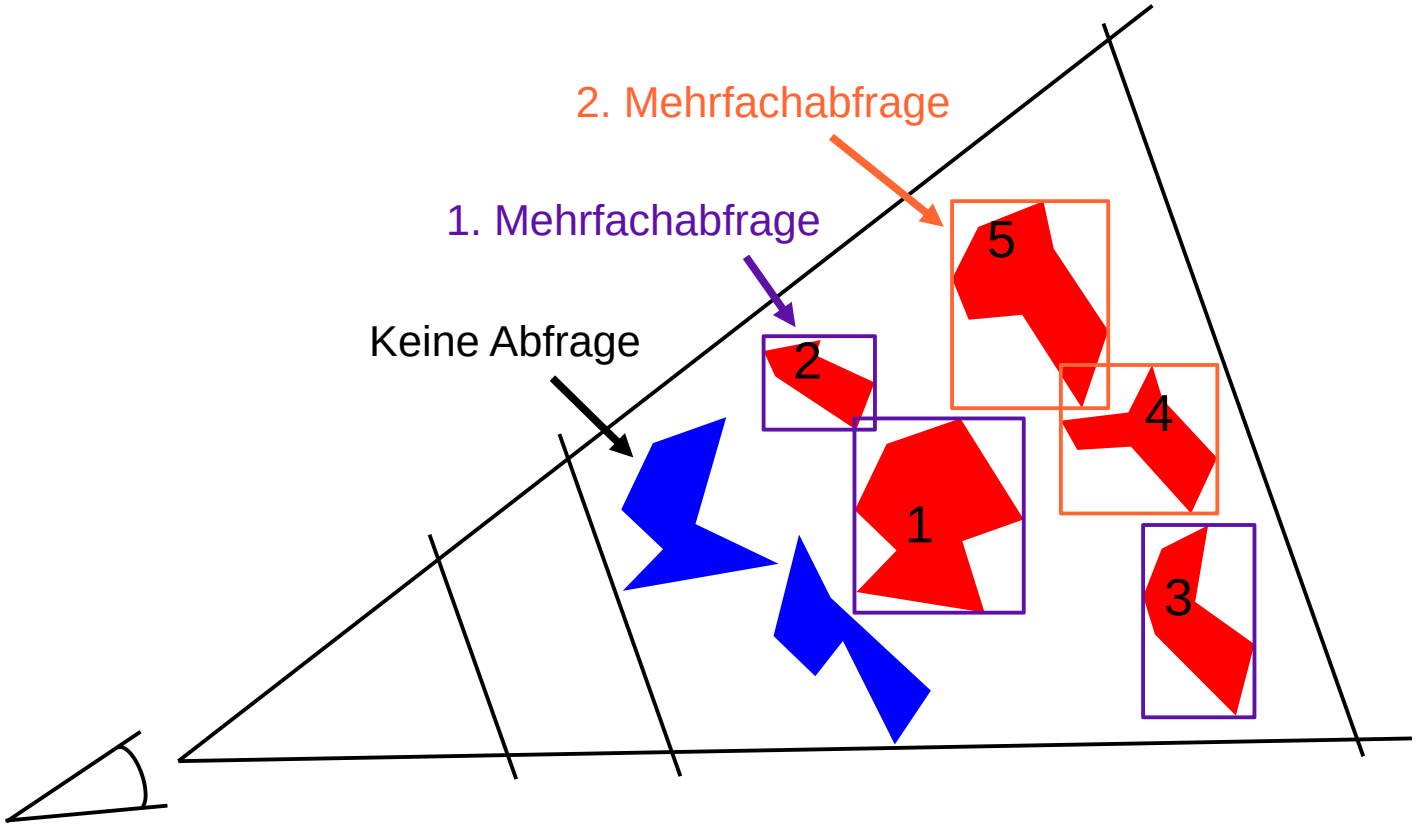
- Vorsortierung in gegenseitig unabhängige Objekte
  - Nutze mehrere OccupancyMaps (OM)



8.5 Culling

Occlusion-Culling

– Überlappfreie Vorsortierung



8.5 Culling

Occlusion-Culling

– Überlappfreie Vorsortierung

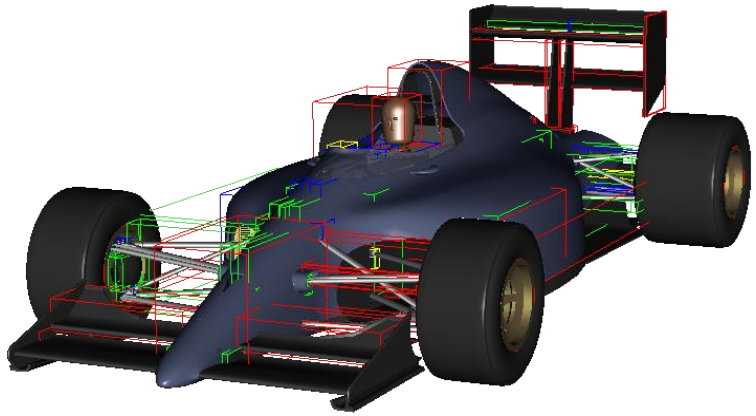
Occupancy Map für Gesamtfenster

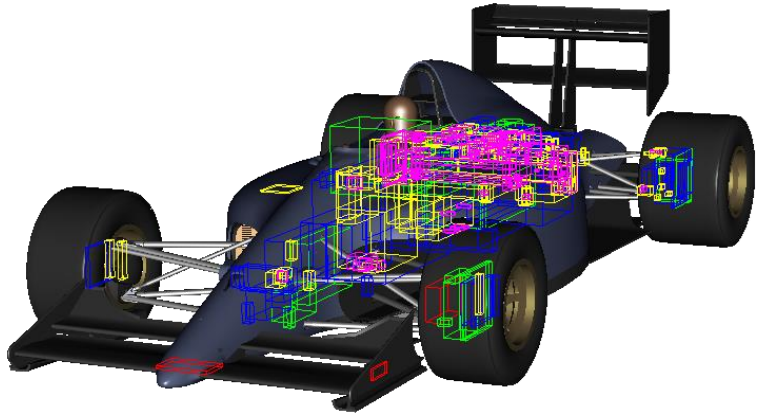
Occupancy Map für 1. Mehrfachabfrage

Occupancy Map für 2. Mehrfachabfrage

Occupancy Map für 3. Mehrfachabfrage

Occupancy Map für 4. Mehrfachabfrage





Quellen

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