Inhaltsverzeichnis - Themen

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

5. Visibilität und Verdeckung

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

5. Visibilität und Verdeckung

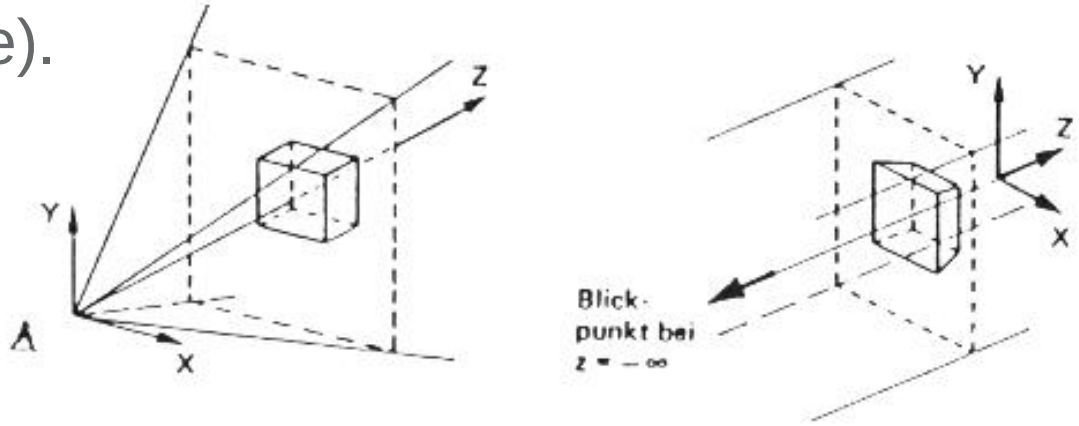
Visibilität

- Bestimmung der **sichtbaren Pixel**
  - Welches Pixel liegt **vor dem anderen**?
- **Entfernung verdeckter** Kanten und Flächen
  - Nicht zum Sparen, sondern für **korrekte** Darstellung
  - Wireframe-Darstellung:
    Nur Kantendarstellung: **Hidden Line Removal** (HLR)
  - Flächendarstellung:
    Solide Fläche: **Hidden Surface Removal** (HSR)
- **Transparenzen** müssen ggf. berücksichtigt werden

5. Visibilität und Verdeckung

Verdeckung

- Dreidimensionale Szene wird auf Bildebene projiziert: **unterschiedliche Objektteile** werden auf **dieselbe Stelle** abgebildet.
- Sichtbar sind diejenigen Objektpunkte, die dem Auge des Betrachters **am nächsten** gelegen sind.
- Nicht nur die (x, y)-Koordinate in der Bildebene wichtig, sondern auch die **Tiefenrelation der Szene** (z-Koordinate).



5. Visibilität und Verdeckung

Visibilität vs. Verdeckung

- Visibilität für **Korrektheit**
- Verdeckung für **Beschleunigung** (nicht sichtbare Anteile werden weggelassen - Culling)
  - nutzt Heuristiken
  - In der Regel keine exakte Lösung

5. Visibilität und Verdeckung

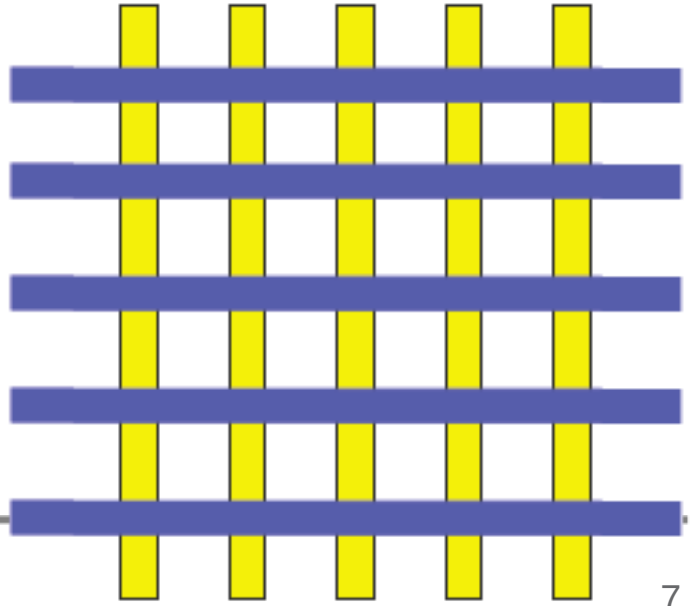
Kohärenzen

- Ausnutzung lokaler **Ähnlichkeiten**

- **Objekt**kohärenz: schneiden sich Objekte nicht, so müssen auch nicht ihre Flächen miteinander getestet werden.
- **Flächen**kohärenz: Eigenschaften benachbarter Punkte auf einer Fläche ändern sich oft nur unwesentlich.
- **Tiefen**kohärenz: Die Tiefe z(x,y) auf einer Fläche kann oft inkrementell berechnet werden
- **Zeit-/Frame**kohärenz: Oft ändern sich nur wenige Anteile eines Frames

5.1 Visibilität

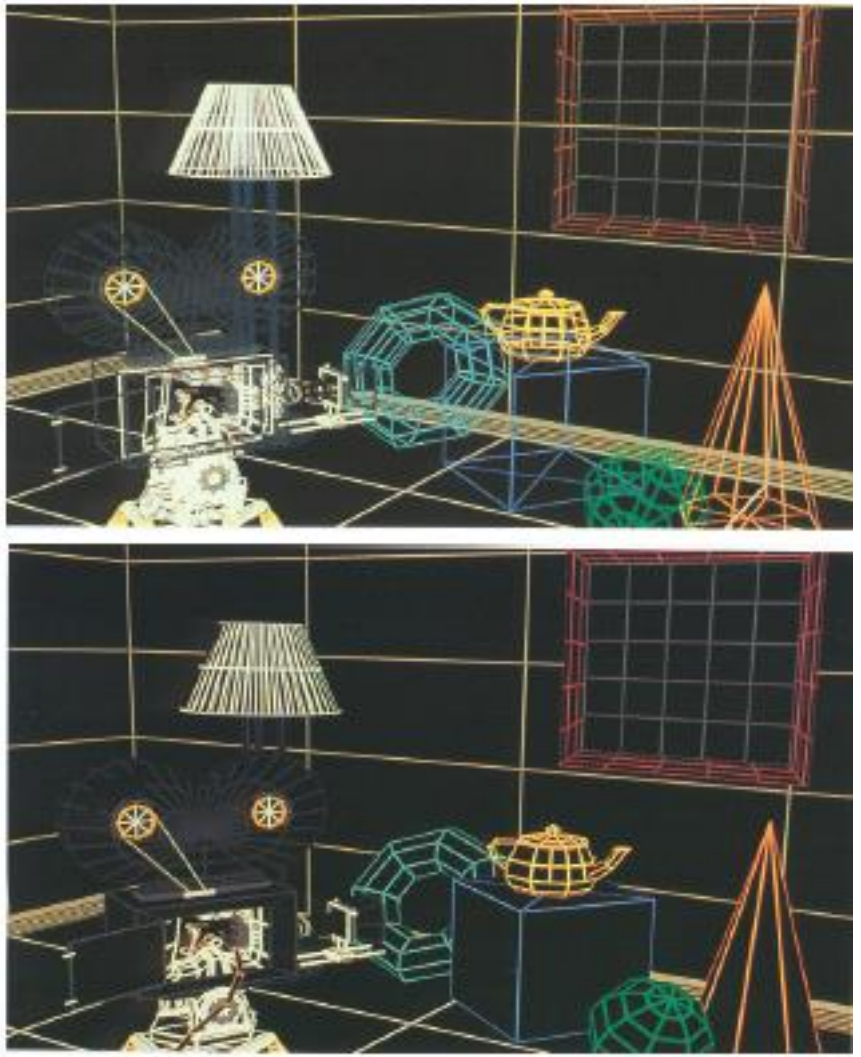
- Polygone werden auf die **Bildebene projiziert.**
- Polygone werden **in Pixel zerlegt** und die Pixel im Framebuffer abgelegt.
- Letztes gerastertes Polygon besetzt **Pixelpositionen im Framebuffer.**
- Aber: welches Polygon **müsste gesehen** werden?
  - Das dem **Beobachter am nächsten** Gelegene!
- **Klare Aussage** nicht immer gegeben.
- Visibilität = **Sortierproblem**



5.1 Visibilität

Wireframe-Darstellung

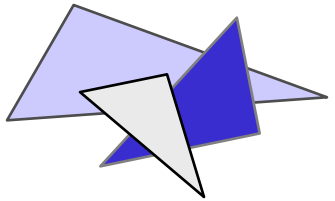
- Kanten der Flächen werden dargestellt.
- Eigentlich verdeckte Kanten **scheinen durch.**
- **Hidden-Line**-Removal: Entfernen verdeckter Kanten



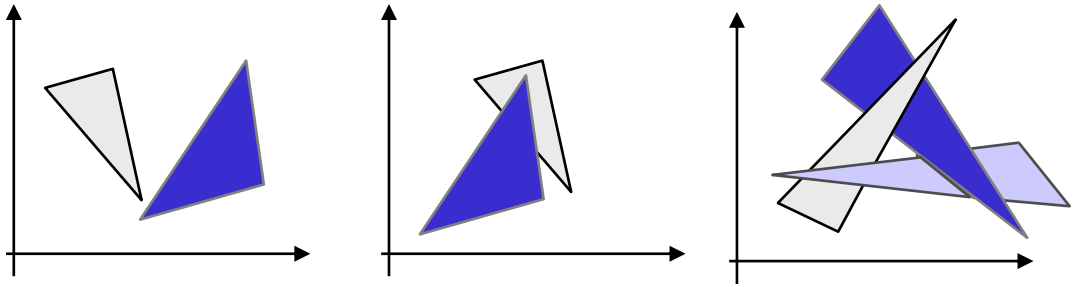
[Foley et al, 1992]

5.1 Visibilität

Painter‘s Algorithmus



- 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 (Teil-)Polygon mit **größtem z-Wert**.



- Komplexität: $O(n^2)$, n ist Anzahl der Dreiecke

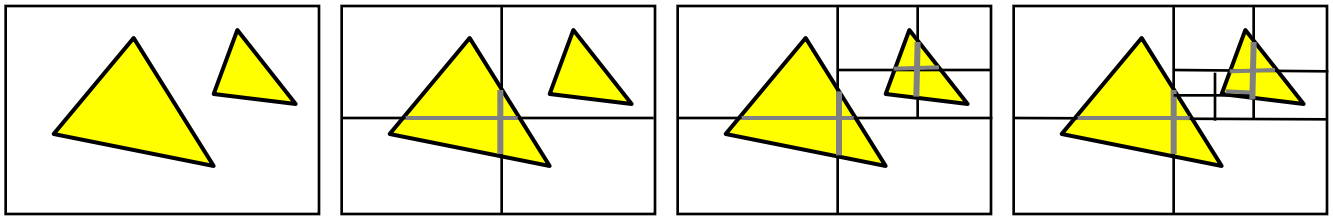
Bekannte Verfahren

- 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
- Depth List: Newell et al., 1972 Prioritätslistenalgorithmus im Objektraum
- Weiler-Atherton-Algorithmus (1977): Sortiert Polygone näherungsweise in der Tiefe

5.1 Visibilität

Divide and Conquer [Warnock 1969]

- **Komplexe Fälle** werden auf **einfache Fälle** zurückgeführt
  - **Näheste Fläche** überdeckt gesamten Rasterbereich
  - Es gibt **maximal eine** Fläche im Rasterbereich
- Ansonsten **rekursive Unterteilung** bis nur noch einfache Fälle

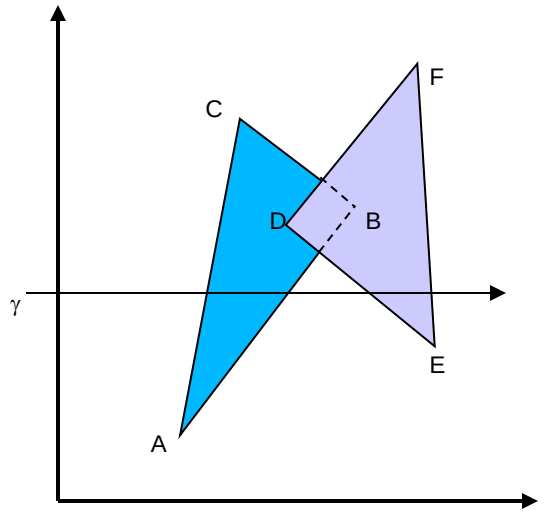


- Aufwand: O(np), p = #Pixel, n = #Polygone
- Ggf. muss Unterteilung bis **auf Pixelebene** durchgeführt werden.
  - Fast immer bei n>p (große Szenen)
  - Entspricht dann dem Z-Buffer, aber mit **Overhead.**

Scanline/Sample Span [Watkins 1970]

- y-Scanline γ nach Kanten untersuchen
- Kanten nach Tiefenwerten vergleichen/sortierten
- Kanten-,Polygon-, **ActiveEdge-Tabellen** (AET)
- **Update** der AET für jede neue Scanline γ
- Scanline γ in AET:
  AC, AB, DE, FE
  P_1in
  P_1out
  P_2in
  P_2out

  P_1, P_2 Polygone



5.1 Visibilität

Bekannte Verfahren

- erste Lösung des Hidden-Line-Problems: Roberts, 1963
- Appels Algorithmus (1967)
- Area Subdivision (divide-and conquer): Warnock, 1969
- Sample Spans: Watkins, 1970
- Depth List: Newell et al., 1972
- Weiler-Atherton-Algorithmus (1977)

- **Diese Algorithmen haben sich im Allgemeinen nicht durchgesetzt, aber:**

Bekannte Verfahren (Frts)

Z-Buffer-Algorithmus [Straßer, 1974, Catmull, 1974]

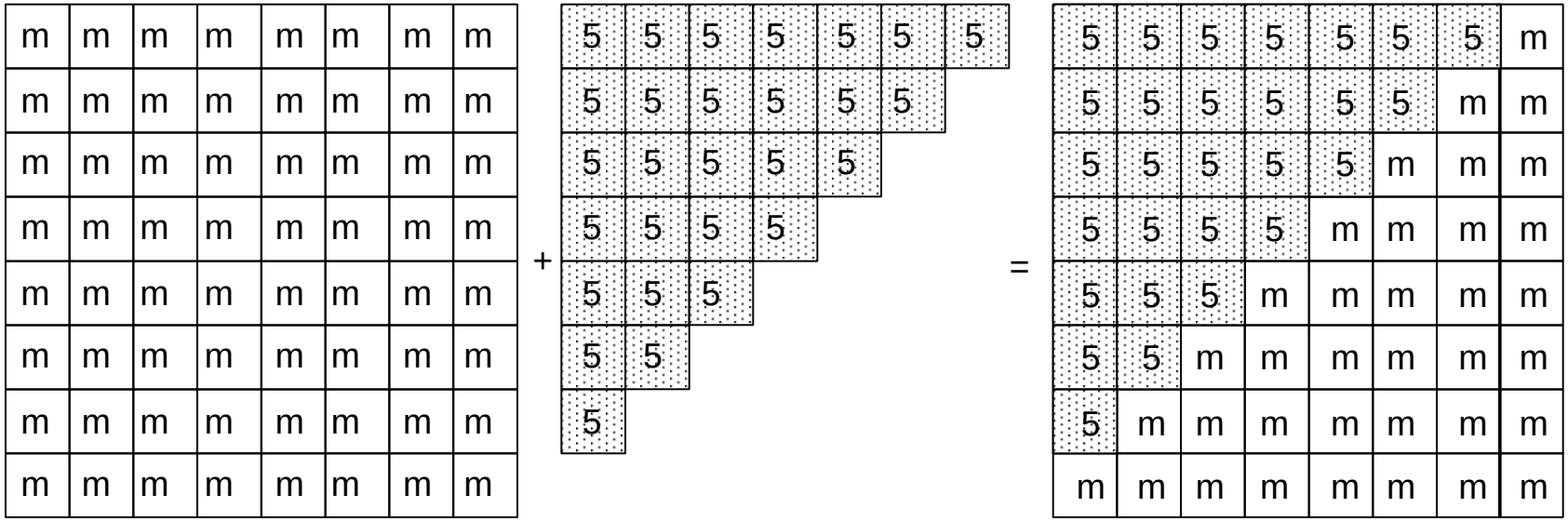
- Bestimmt Sichtbarkeit von Pixeln (**Bildraum**).
- Geeignet für die Bildausgabe auf Rastergeräten
- Einfache **Hardware-**Unterstützung
- Arbeitsweise
  - Sucht für jeden Pixel bei Rasterung nach Polygon mit **kleinstem** (am weitesten vorne liegendem) z-Wert.
  - **Zusätzlicher Speicher** (Z-Buffer/Depthbuffer):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

Z-Buffer-Algorithmus

- Initialisiere Framebuffer (Farbbuffer) mit **Hintergrund**farbe.
- Initialisiere Z-Buffer mit **maximalem z-Wert**.
- **Scan-Conversion** aller Polygone in beliebiger Reihenfolge
  - Berechne z-Wert z(x,y) für jedes Pixel (x, y) im Polygon.
  - z(x, y) < Z-Buffer (x, y),
    dann zeichne Polygonfarbe in Farbbuffer bei (x, y) ein und Z-Buffer(x, y) = z(x, y).
- Am Ende enthält der Farbbuffer das gewünschte Bild, der z-Buffer dessen **Tiefenverteilung**.

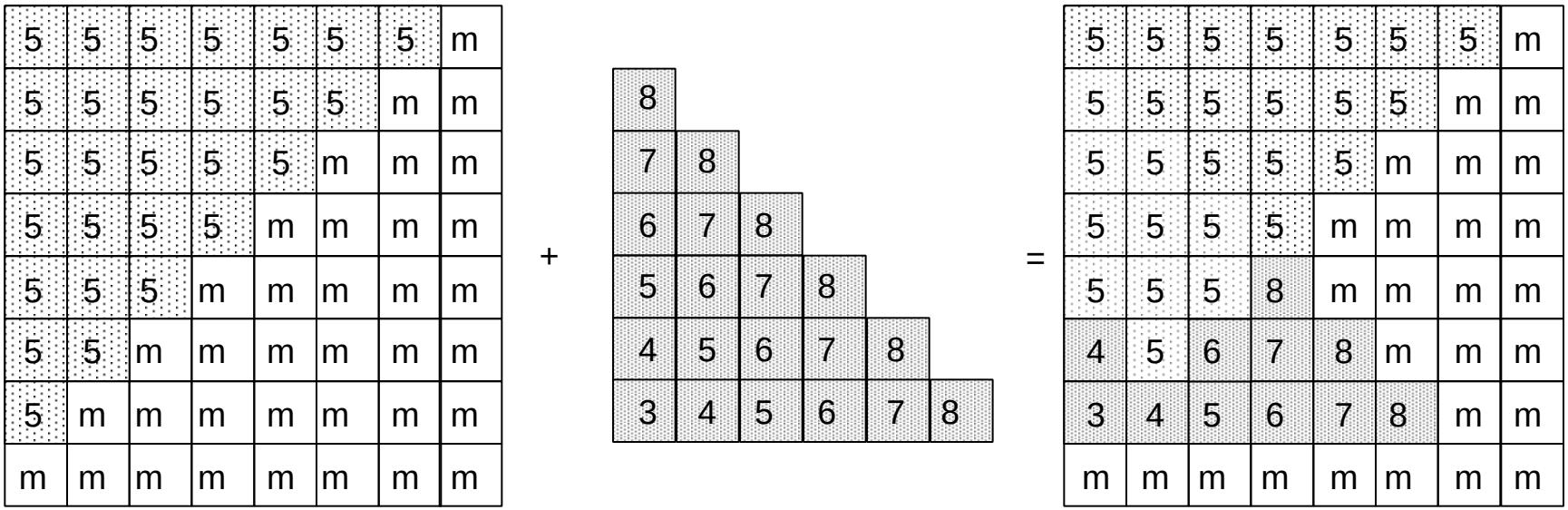
Z-Buffer-Algorithmus – Beispiel

- z-Werte codiert durch Zahlen:
  kleinere Zahl => näher am Auge
- Initialisiere Z-Buffer mit max. z-Wert **m** (ganz hinten)
- Addiere ein Polygon mit **konstantem z-Wert 5**.



Z-Buffer-Algorithmus – Beispiel

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



Z-Buffer-Algorithmus – Berechnung von z bei Polygonen

Zur Berechnung von z(x,y) für ebene Polygone (z.B. Dreiecke) entlang einer Scan-Line:

Ebene $Ax+By+Cz+D=0$

Also: $z = (-D – Ax – By) / C$

$z(x+dx,y) = (-D-A(x+dx) - By)/C = z(x,y) – dx * A/C$

Nur eine Subtraktion ist notwendig, da A/C konstant ist und dx=1.

Z-Buffer-Algorithmus – Vorteile

+ sehr **einfache Implementierung** des Algorithmus
+ **unabhängig** von der Repräsentation der Objekte;
  es muss nur möglich sein, zu jedem Punkt der Oberfläche einen z-Wert zu bestimmen

+ keine **Komplexität**sbeschränkung der Bildszene
+ keine besondere **Reihenfolge** oder Sortierung notwendig

Z-Buffer-Algorithmus – Vorteile

- **Auflösung des Z-Buffers** bestimmt Diskretisierung der Bildtiefe: z.B. 20 Bit genau 2^{20} Tiefenwerte unterscheidbar
  - problematisch sind **weit entfernte** Objekte mit kleinen Details (perspektivische Transformation)

Z-Buffer-Algorithmus – Vorteile

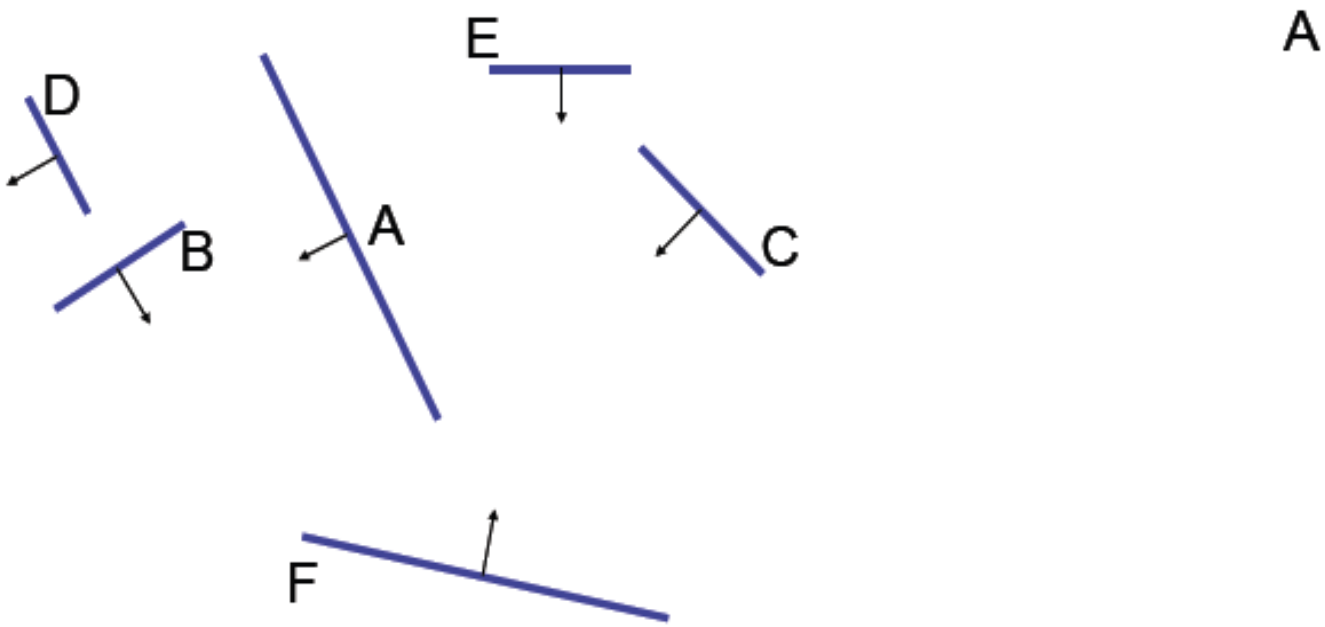
- **Auflösung des Z-Buffers** bestimmt Diskretisierung der Bildtiefe: z.B. 20 Bit genau 2^{20} Tiefenwerte unterscheidbar
- **Transparenz** (Alpha-Buffering) und **Antialiasing** nur durch aufwändige Modifikationen möglich
- (es wird ein großer Speicher benötigt –
  Abhilfe durch Zerlegung in Teilbilder möglich)

Aufteilung mit dem BSP-Tree

- Jeder Knoten entspricht **Unterteilungsebene.**
- Jeder Knoten teilt Raum in **zwei Halbräume.**
- **Ordnet Raum** bezüglich der Geraden.
- Teilt **Visibilität** an den Unterteilungsebenen auf.

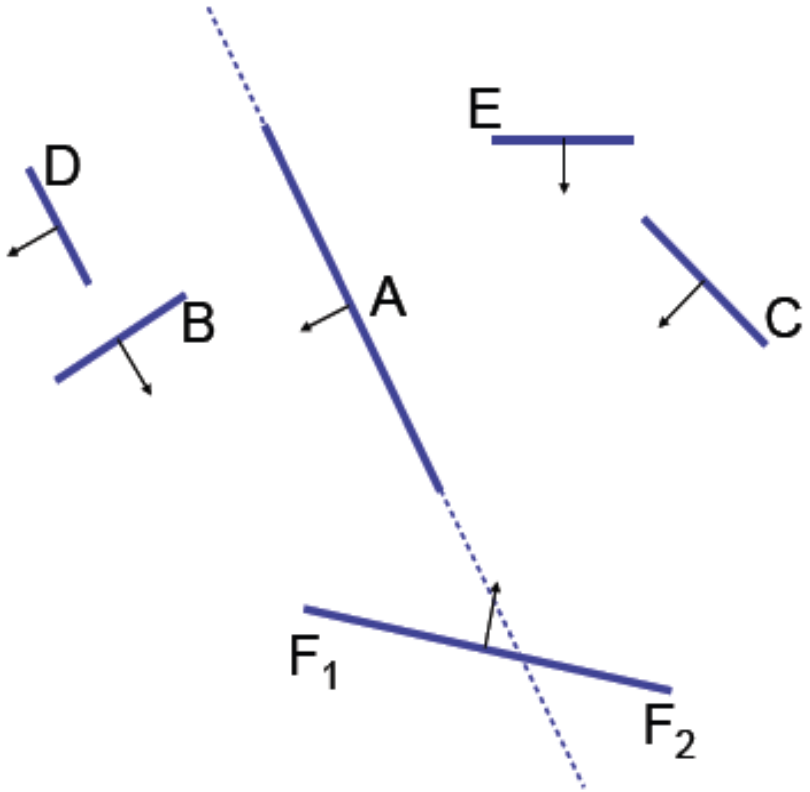
5.1 Visibilität

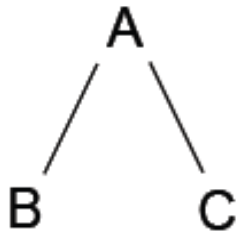
Binary-Space-Partioning



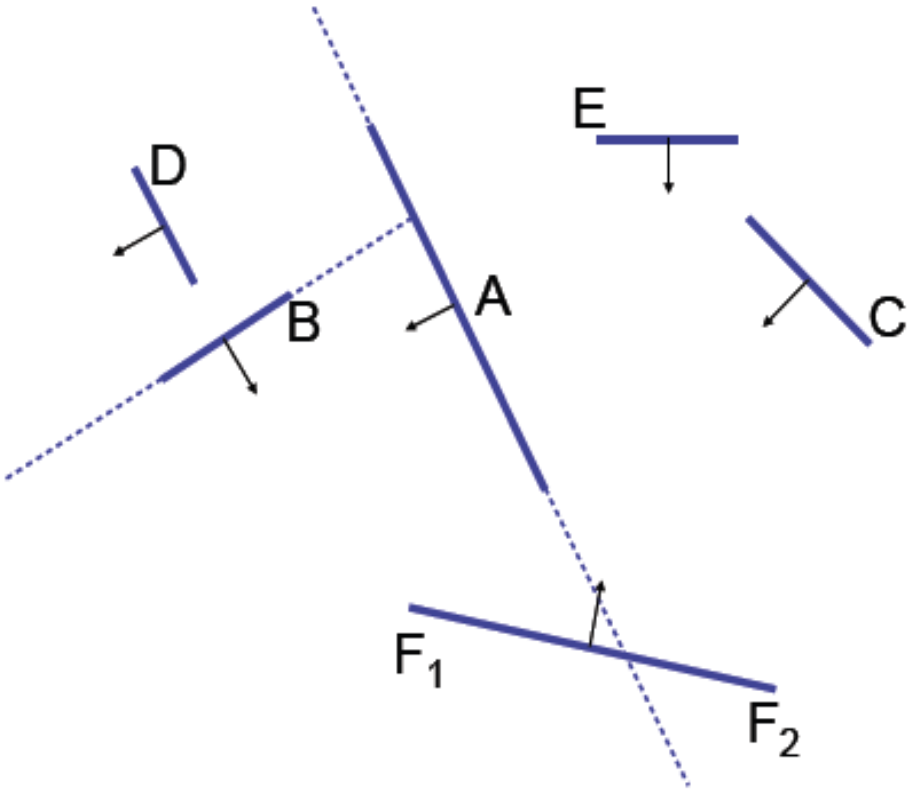
5.1 Visibilität

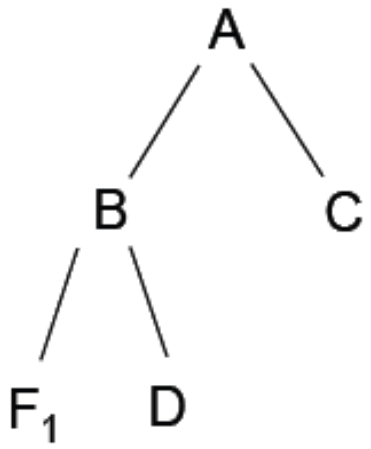
Binary-Space-Partioning



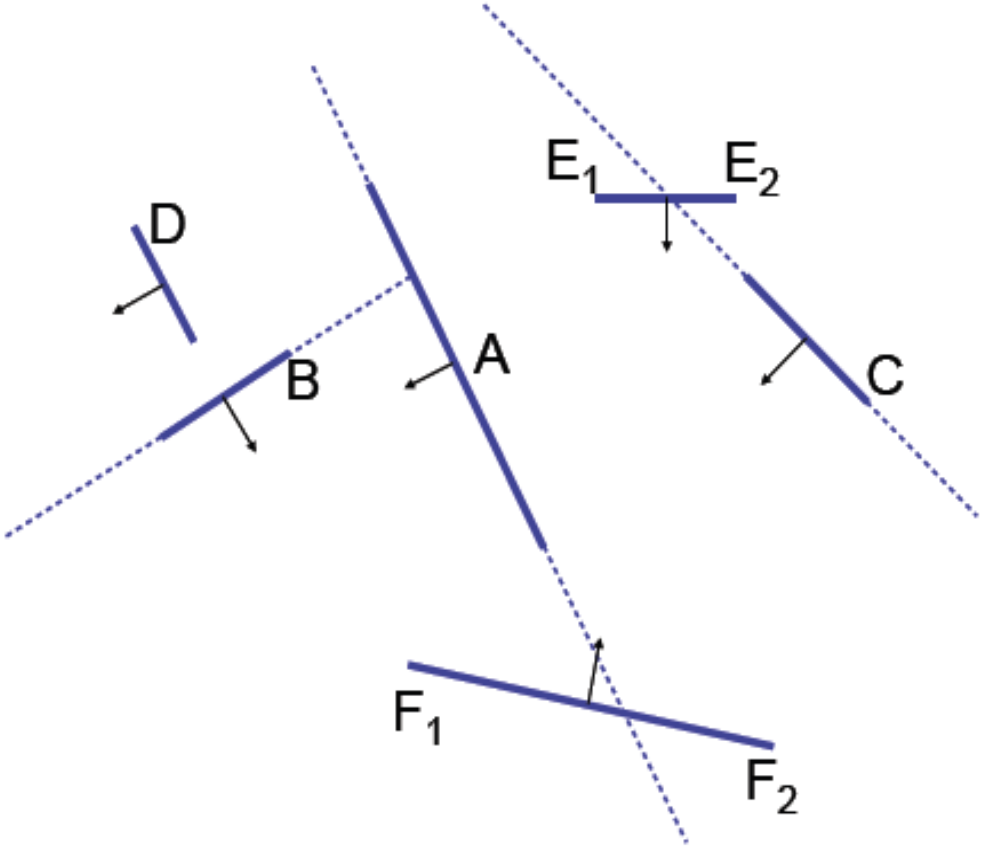


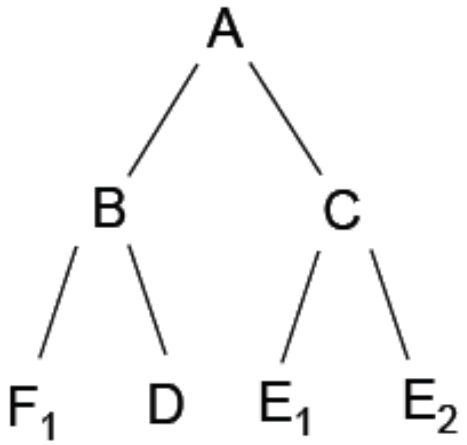
Binary-Space-Partioning



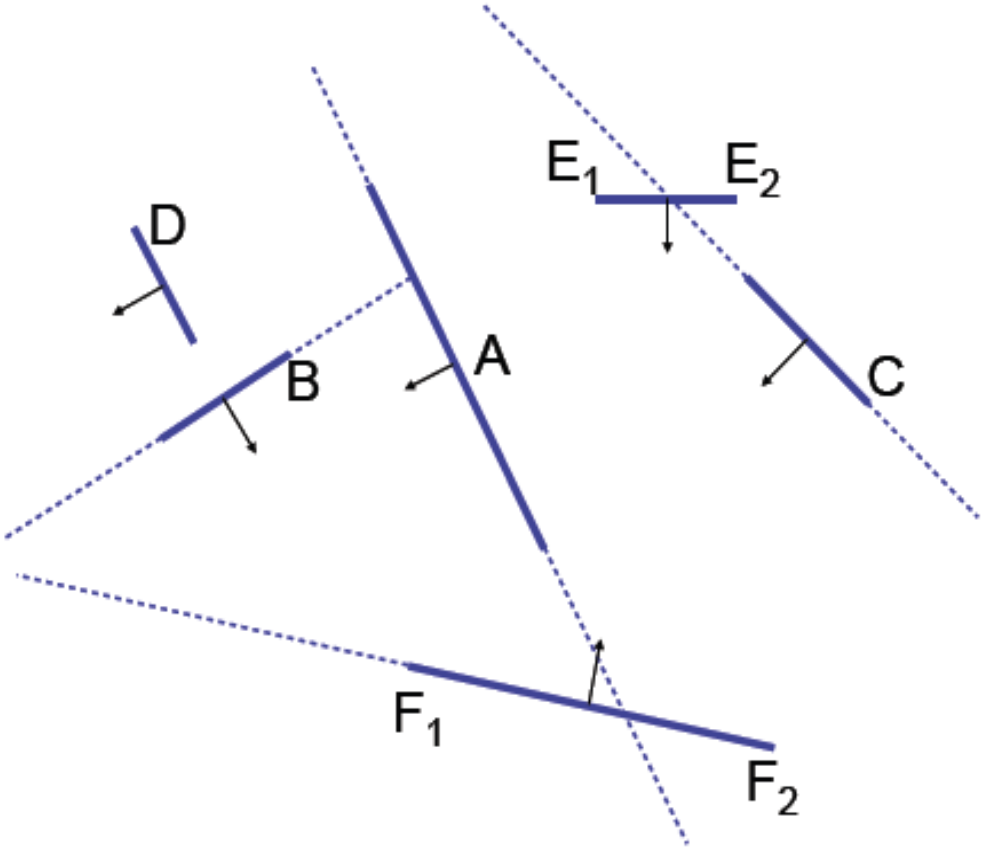


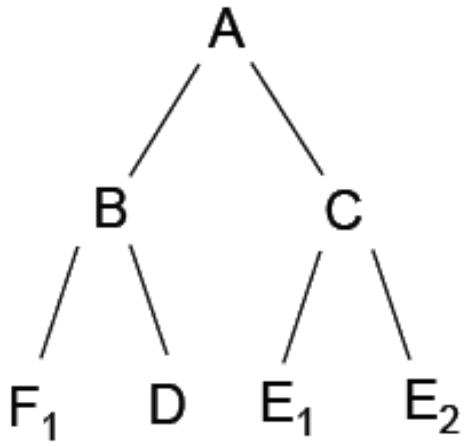
Binary-Space-Partioning



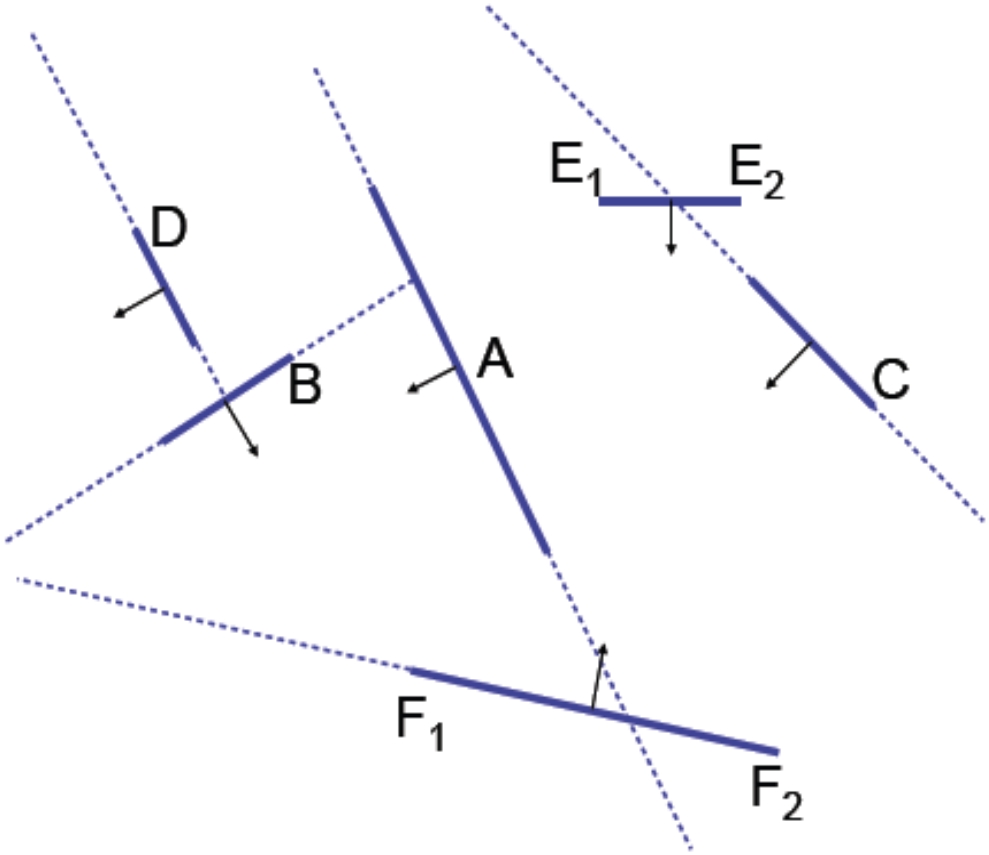


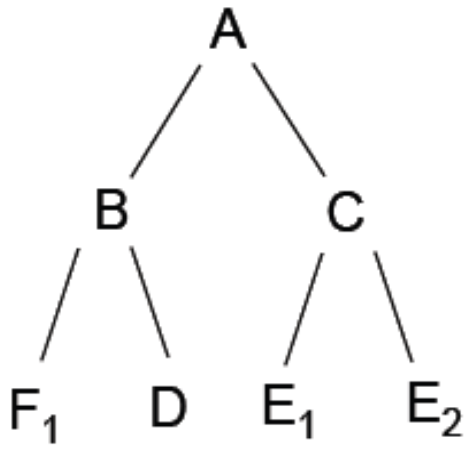
Binary-Space-Partioning



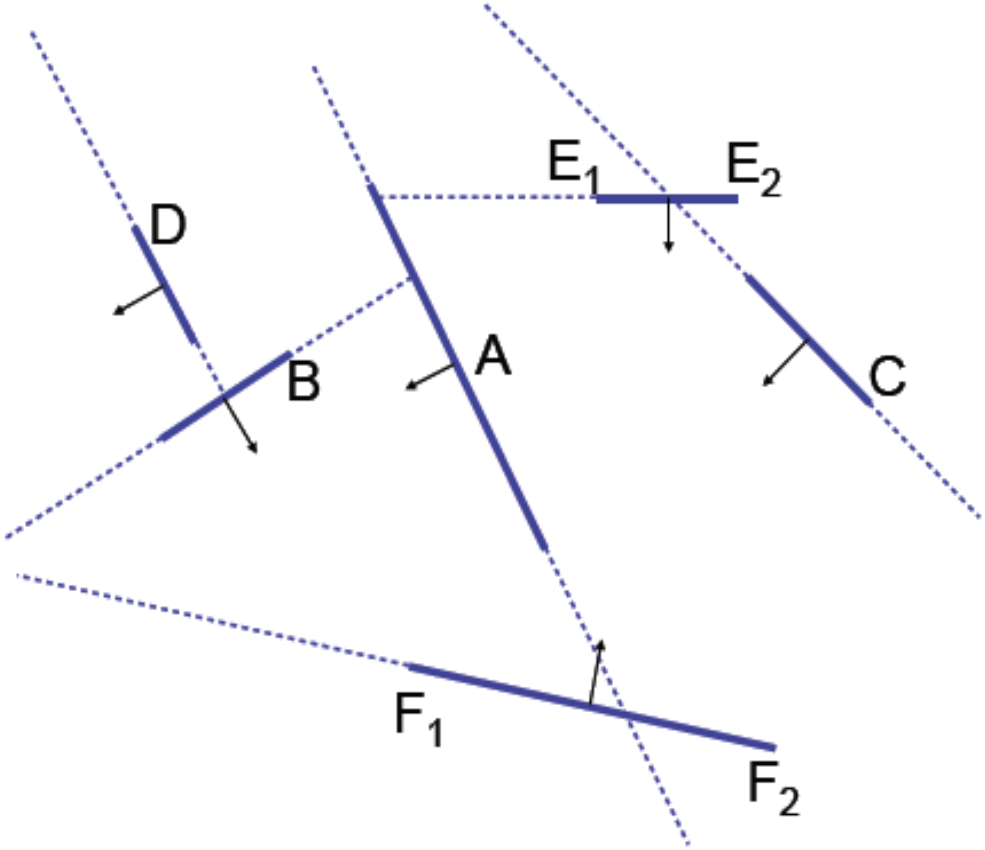


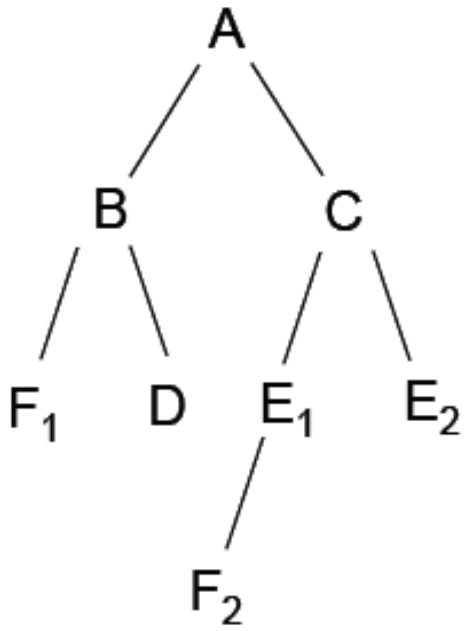
Binary-Space-Partioning



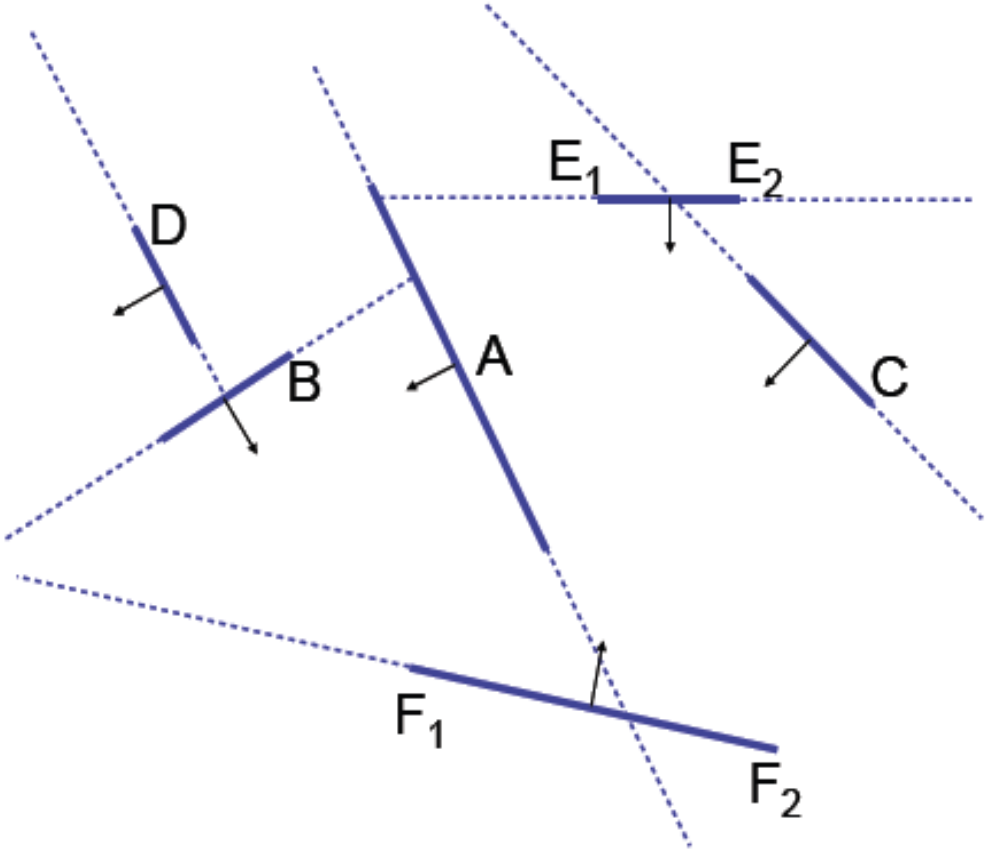


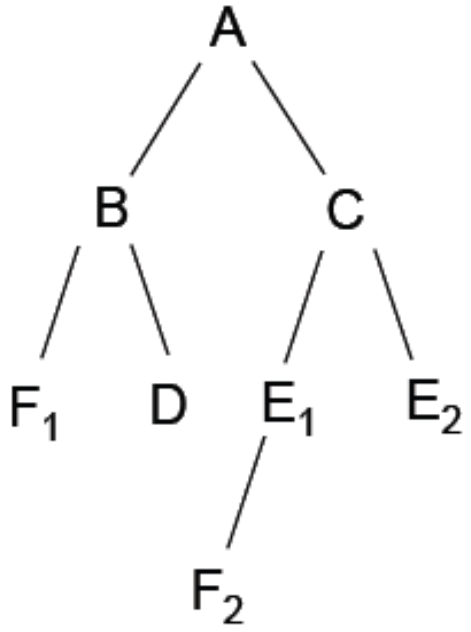
Binary-Space-Partioning



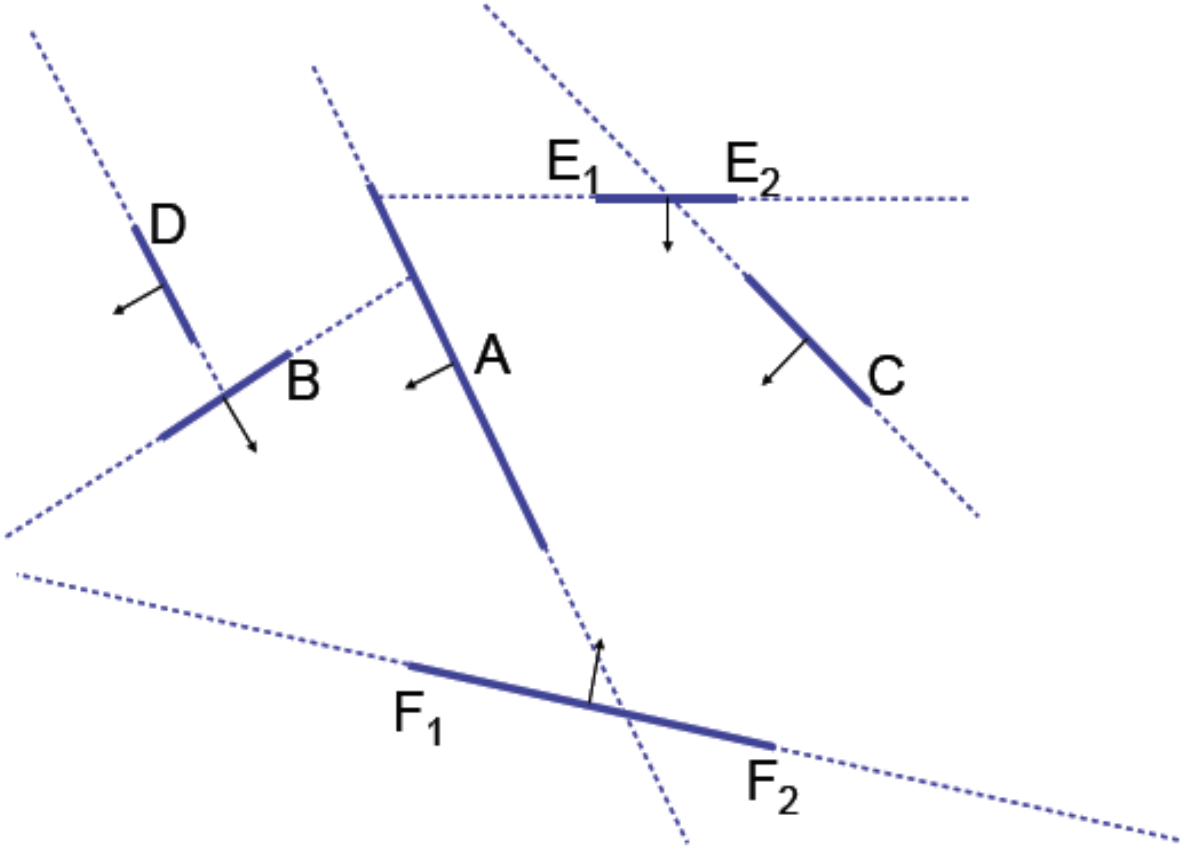


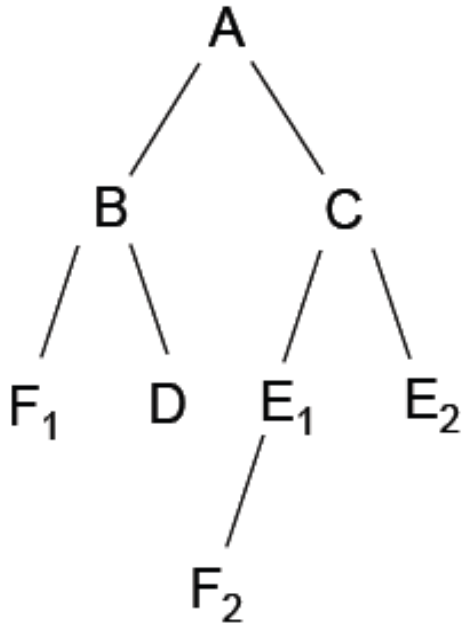
Binary-Space-Partioning





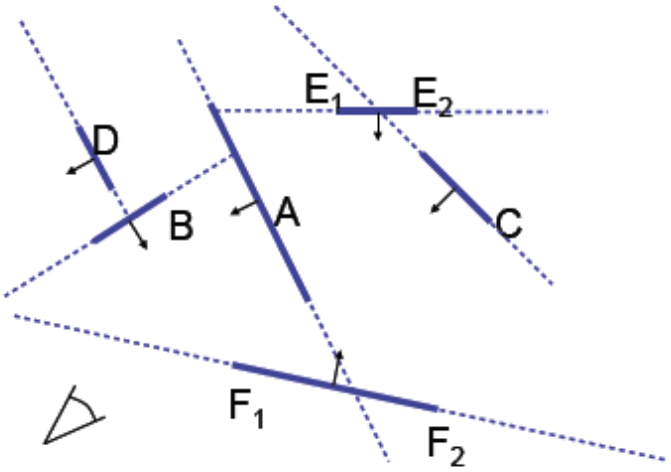
Binary-Space-Partioning





Binary-Space-Partioning

- **Tiefensortierte** Liste von Polygonen
- Identifiziere Halbraum H_b in dem der **Augpunkt** liegt
- Traversierungs**reihenfolge**
  - $H_{1\text{-}b}$
  - Knoten (Polygone)
  - H_b
- E_2,C,E_1,F_2,A,D,B,F_1



Painter‘s Algorithmus mit BSP

- Objekt im Halbraum **gegenüber des Augpunkts** können Objekte des anderen Halbraums nicht verdecken, können also **gezeichnet werden**.
- BSP ist tiefensortiert: **Blätter** zeichnen
- Traversierungsreihenfolge (Links/Rechts) durch **Position des Augpunkts** gegeben
- Kosten assoziiert mit **Größe/Tiefe** des BSP-Baums

Painter‘s Algorithmus mit BSP

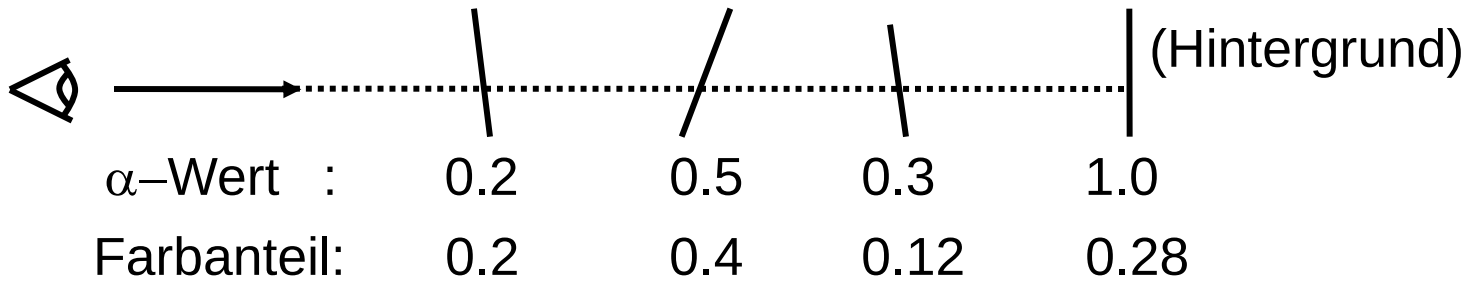
painters(T,P_{Auge}): T BSP-Baum, P_{Auge} = Augpunkt

```
    v= root(T);
    if blatt(v) then zeichne Objektfragmente in S(v)
    else if P_Auge ∈ H_v+ then  // H_v^+ Linker Halbraum von v
            painters(T^-(v), P_Auge);
            zeichne Objektfragmente in S(v)
            painters(T^+(v), P_Auge);
    else if P_Auge ∈ H_v- then  // H_v^- Rechter Halbraum von v
            painters(T^+(v), P_Auge);
            zeichne Objektfragmente in S(v)
            painters(T^-(v), P_Auge);
    else
            painters(T^+(v), P_Auge);
            painters(T^-(v), P_Auge);
```

5.1 Visibilität

α -Buffer-Algorithmus

- Transparente Flächen besitzen neben den Farbattributen noch einen lokalen Wert für die **Undurchsichtigkeit** (Opazität, Opacity)
  $\alpha \in [0,1]$ (0 = transparent, 1 = undurchsichtig)
- **Pixelfarbe**: Polygonfarbe · α und Hintergrundfarbe · (1- α)



α -Buffer-Algorithmus

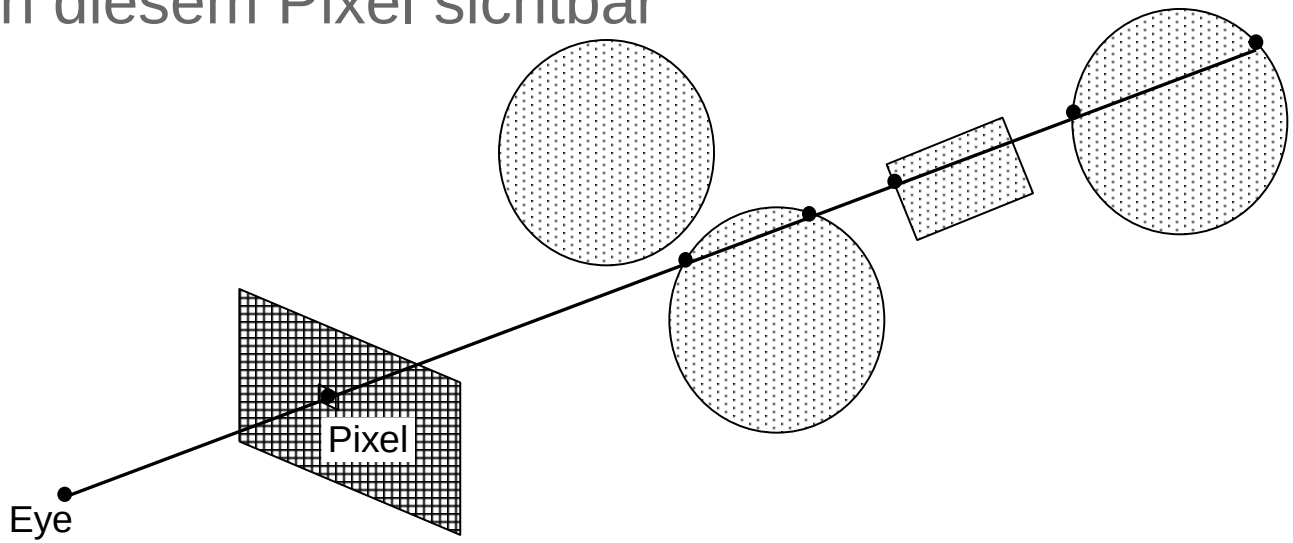
- Transparente Flächen besitzen neben den Farbattributen noch einen lokalen Wert für die **Undurchsichtigkeit** (Opazität, Opacity)
  $\alpha \in [0,1]$ (0 = transparent, 1 = undurchsichtig)
- **Pixelfarbe**: Polygonfarbe · α und Hintergrundfarbe · (1- α)
- α -Buffering funktioniert analog wie z-Buffering, aber:
  - Szene muss von **hinten nach vorne** aufgebaut werden
  - **Tiefensortierung** der Polygone ist notwendig.

Strahlverfolgungs-Algorithmus (RayTracing / RayCasting)

- RayCasting
  - Löst die **Sichtbarkeit** (Strahlperspektive)
  - **Sendet** (to cast) **Strahlen** (ray) durch Datensatz
  - **Akkumuliert** Beiträge entlang des Strahls
- RayTracing
  - Ray Casting + Weiterverfolgung **reflektierter** bzw. **gebrochener** Strahlen
  - **globales** Beleuchtungsmodell
- **Bildraum**algorithmen

RayTracing

- **Verfolge** (to trace) Strahlen vom Augpunkt durch **alle Pixel** der Bildebene
- Berechne **Schnittpunkte** mit allen Objekten der Szene
- RayCasting: Objekt mit **nächst gelegenem** Schnittpunkt ist in diesem Pixel sichtbar

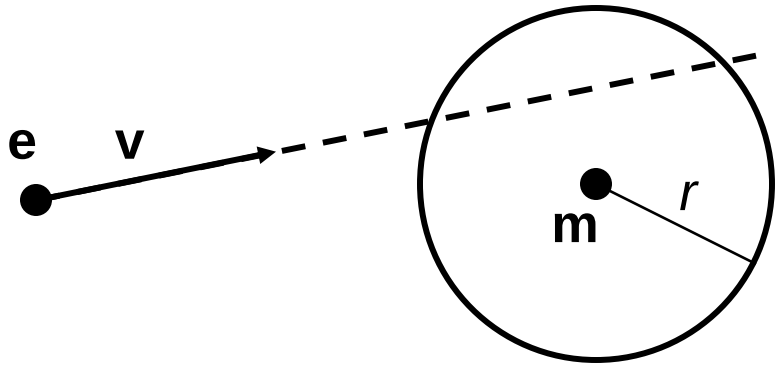


RayTracing

- Schnittpunktberechnung mit dem Strahl

  $r(t) = e + t\,v$

  e Augpunkt
  v Sichtrichtung (Pixel - e)
  t Strahlparameter



- Beispiel 1: Schnitt mit einer impliziten Kugel

  $|| x - m ||^2 - r^2 = 0$

  Einsetzen des Strahls r(t) für x liefert:

5.1 Visibilität

$$\| e + t\,v - m \|^2 - r^2 = 0$$

$$(e + t\,v - m) \cdot (e + t\,v - m) - r^2 = 0$$

$$((t\,v) + (e - m)) \cdot ((t\,v) + (e - m)) - r^2 = 0$$

$$t^2\, v \cdot v \;+\; 2\,t\,v \cdot (e - m) \;+\; (e - m) \cdot (e - m) - r^2 = 0$$

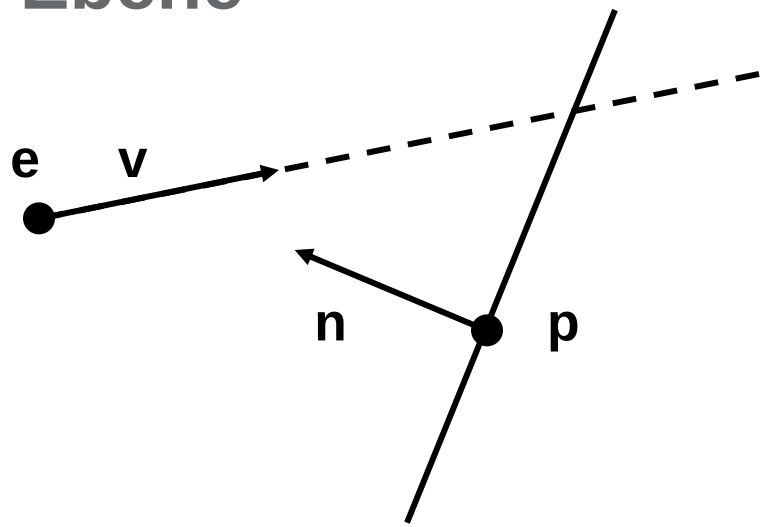
- Lösen der quadratische Gleichung nach t liefert (max. zwei) **Parameter der Schnittpunkte**

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

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

Beispiel 2: Schnitt mit einer Ebene

p Punkt der Ebene
n Normalenvektor



- Einsetzen des Strahls in die Normalenform der Ebene liefert:

$$(x - p) \cdot n = 0$$

$$(e + t\,v - p) \cdot n = 0$$

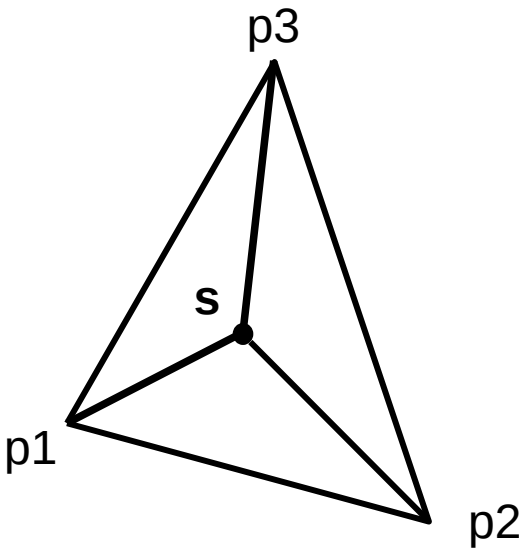
$$t\,v \cdot n + (e - p) \cdot n = 0$$

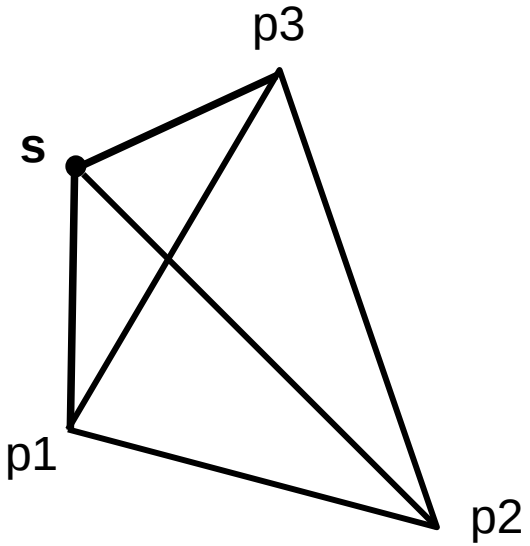
$$t = (p - e) \cdot n \,/\, v \cdot n$$

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

5.1 Visibilität

- Beim Schneiden von Polygonen (Dreiecken) ist noch die Gültigkeit des Schnittpunktes zu verifizieren
  - Bestimme **Summe der Flächeninhalte** der Teildreiecke.
  - Ist diese **Summe größer** als der Flächeninhalt des ursprünglichen Dreiecks, so liegt der Punkt **außerhalb.**





RayTracing - Nachteile

- Für **jeden Strahl** muss **jedes Objekt** der Szene daraufhin getestet werden, ob der Strahl das **Objekt schneidet.**
- Bei einer Auflösung 1024*1024 mit 100 Objekten in der Szene müssen **100 Millionen Schnittpunkt-berechnungen** durchgeführt werden!
- Bis zu **95% der Rechenzeit** werden für Schnittpunkt-berechnungen bei typischen Szenen verbraucht.

RayTracing: Beschleunigungsansätze

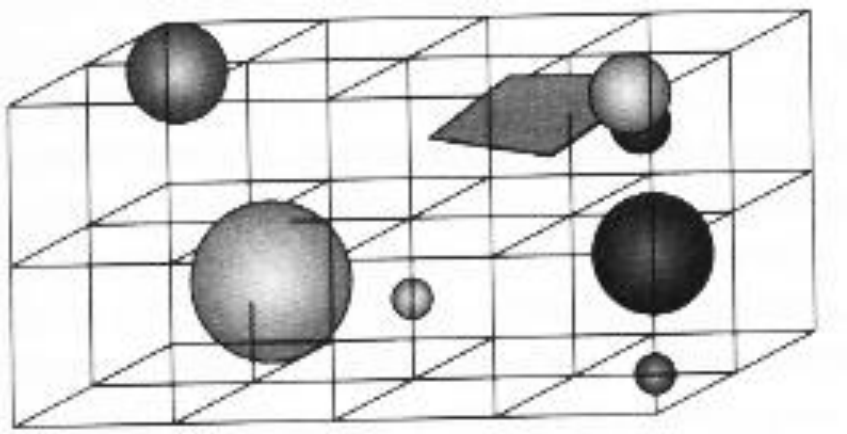
- Transformation der Strahlen **auf die z-Achse**
  - Werden die Objekte mit der gleichen Transformation verschoben, so tritt ein Schnittpunkt immer bei x=y=0 auf.
- Bounding-Box/Spheres
  - Komplexe Objekte werden mit **einfacher zu testenden** Hüllvolumen (zB. Bounding-Boxes/Spheres) umschlossen.
  - Liegt **kein Schnittpunkt mit Hüllvolumen** vor, so liegt auch kein Schnittpunkt mit darin enthaltenen Objekten vor.
- Vermeidung von **unnötigen** Schnittpunktberechnungen
  - Hierarchien
  - Raumteilung

RayTracing: Hierarchien

- Baumartige Strukturen von Hüllvolumen
  - Blätter: **Objekte** der Szene (Geometrie)
  - Innere Knoten: **Hüllvolumen** um Objekte der Unterbäume
- Schneidet ein Strahl das **Hüllvolumen eines inneren** Knotens nicht, so entfällt ein Test der untergeordneten Teilbäume.
- **Problem**: Generierung **guter Hierarchien** ist schwierig
  - Geometrisch: Nach **Szenenausdehnung** unterteilen
  - Dichte: Nach **Polygonschwerpunkten** sortieren und unterteilen

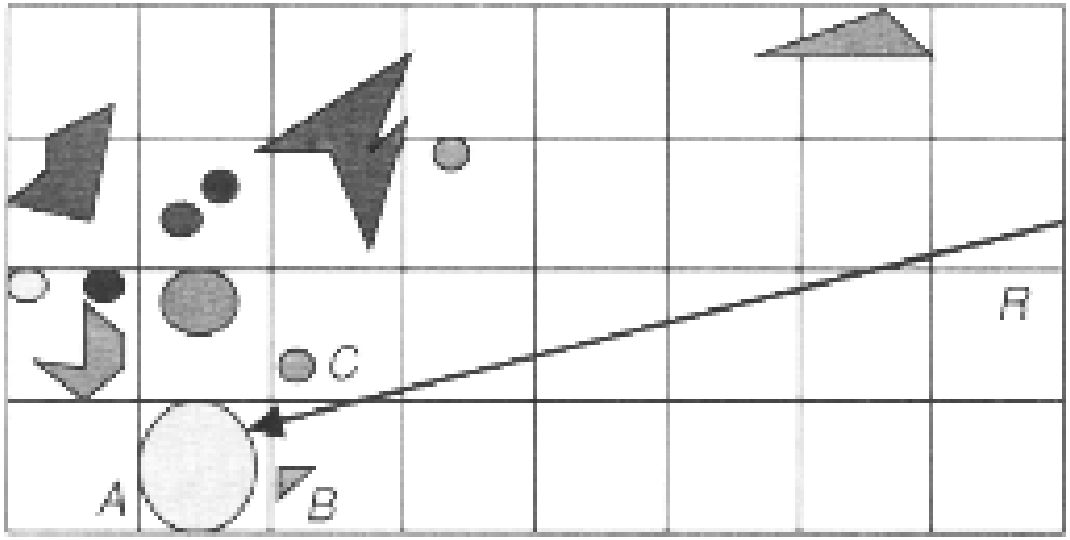
RayTracing: Raumteilung

- **Top-down**-Ansatz
- Zuerst wird **Hüllvolumen der Szene** berechnet.
- Anschließend wird diese in **gleich große Teile** zerlegt.
- Jede Unterteilung enthält eine **Liste mit allen Objekten**, die in der Partition **komplett** oder auch nur **teilweise** enthalten sind.



RayTracing: Raumteilung

- Nur wenn ein Strahl eine **Partition schneidet**, müssen Schnittpunktberechnungen mit den **assoziierten Objekten** durchgeführt werden.
- **Durchlaufen der Partitionen** nach Richtung des Strahls



5.2 Verdeckungsrechnung

- Große Szenen: #Sichtbarer Primitive **<<** #Primitive
- Wesentliche Zielsetzung: **Zeitersparnis**
- Test muss **erheblich „billiger“** sein als normales Rendern und Visibility-Testen.
  - Pipeline **Flush** (Unterbrechung)
  - Test **+ Rendern** (falls sichtbar)
  - Sehr **häufige Testung** pro Frame
- Also muss Test **einfach** sein.
  - **Komplexen Test** auf wenige Einzelfälle beschränken.

5.2 Verdeckungsrechnung

Zwei verwandte Probleme:

- Was ist **Sichtbarkeit**?
  Ist ein Objekt sichtbar von einem bestimmten Blickpunkt?
- Was ist **Verdeckung**?
  Ist ein Objekt verdeckt (nicht sichtbar) von einem bestimmten Blickpunkt?

Nur aufwendig lösbar

Relativ einfacher lösbar durch Heuristiken

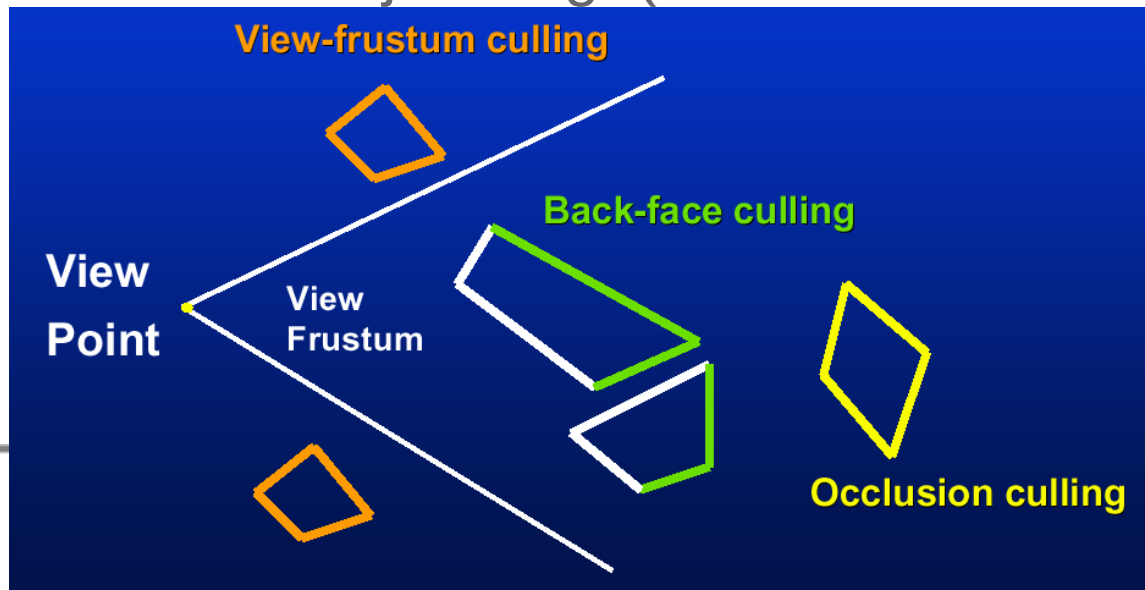
Nicht verdeckt ≠ sichtbar!

5.2 Verdeckungsrechnung

Unterschiedliche Heuristiken für Verdeckung

Nicht sichtbar, wenn:

- Wenn **Normale nach hinten** zeigt, sehen wir Rückseite (Backfrace-Culling)
- Wenn Objekt **außerhalb des Blickfeldes** liegt (View-Frustum-Culling)
- Wenn Objekt **hinter anderem** Objekt liegt (Occlusion-Culling)



Unterschiedliche Heuristiken für Verdeckung

- Objekte von **vorne nach hinten** verarbeiten (Tiefensortierung)
- Verwende **Grenzhüllen/Hüllvolumen**: Wenn Hüllen nicht sichtbar sind, dann auch nicht 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**: Wenn nur ein geringer Anteil sichtbar, als verdeckt behandeln (nichtkonservativ)

5.2 Verdeckungsrechnung

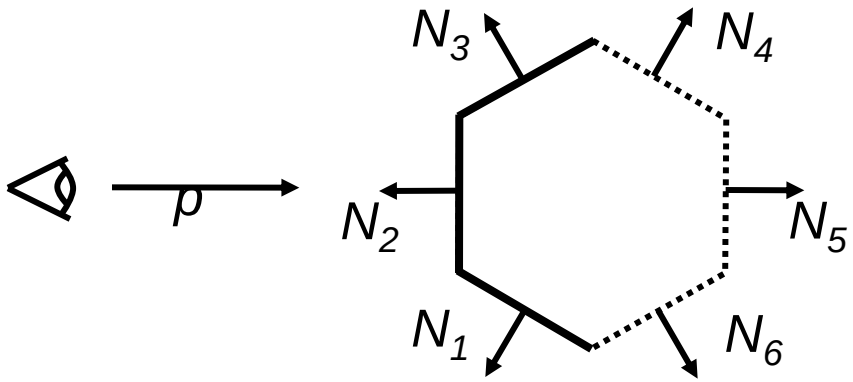
Backface-Culling

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

5.2 Verdeckungsrechnung

Backface-Culling - Klassifikation der Rückseiten

- **Normalenvektoren N_i** aller Flächen benötigt - müssen ggf. berechnet werden.
- Bei Rückseite zeigt **Normalenvektor N_i in Blickrichtung**, d.h. Skalarprodukt aus Blickrichtungsvektor p und Normale N_i: $p \cdot N_i > 0$



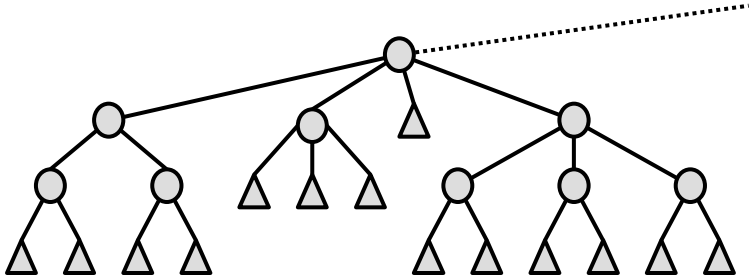
$$p \cdot N_1 < 0 \quad p \cdot N_4 > 0$$
$$p \cdot N_2 < 0 \quad p \cdot N_5 > 0$$
$$p \cdot N_3 < 0 \quad p \cdot N_6 > 0$$

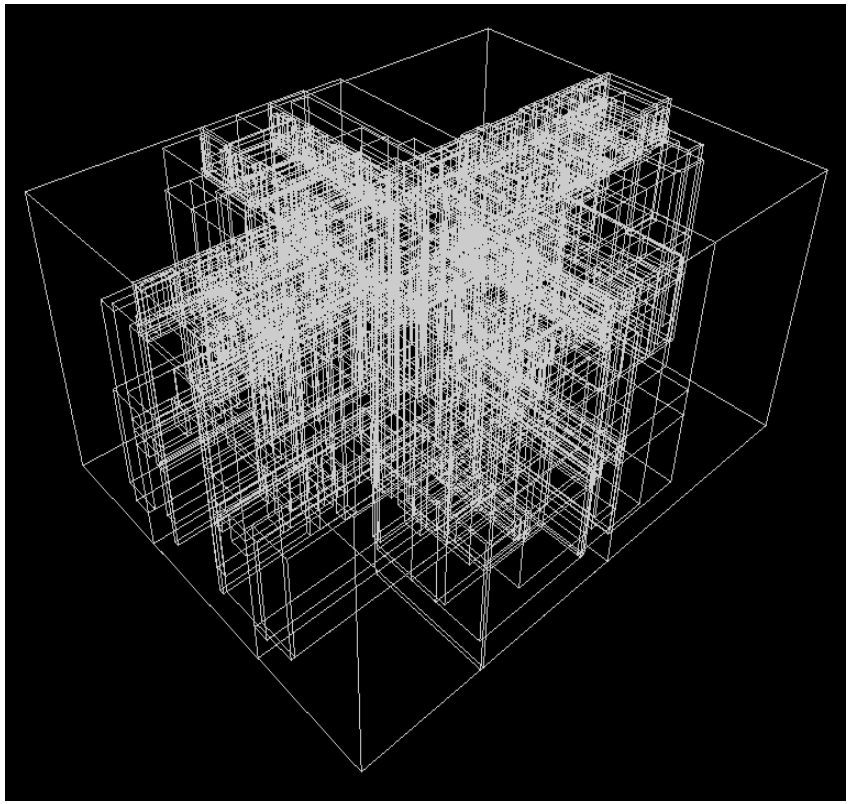
Backface-Culling – Eigenschaften

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

Hierarchische Organisation

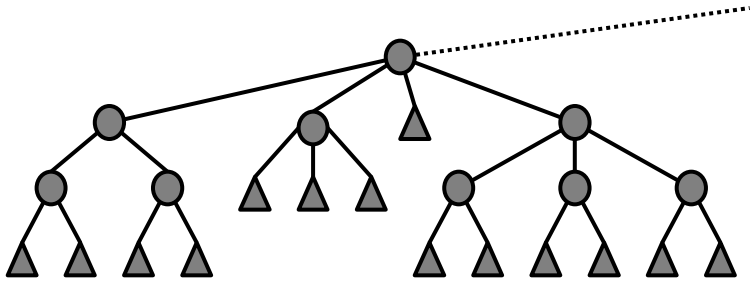
- AABB-Hierarchie (Kathedrale)

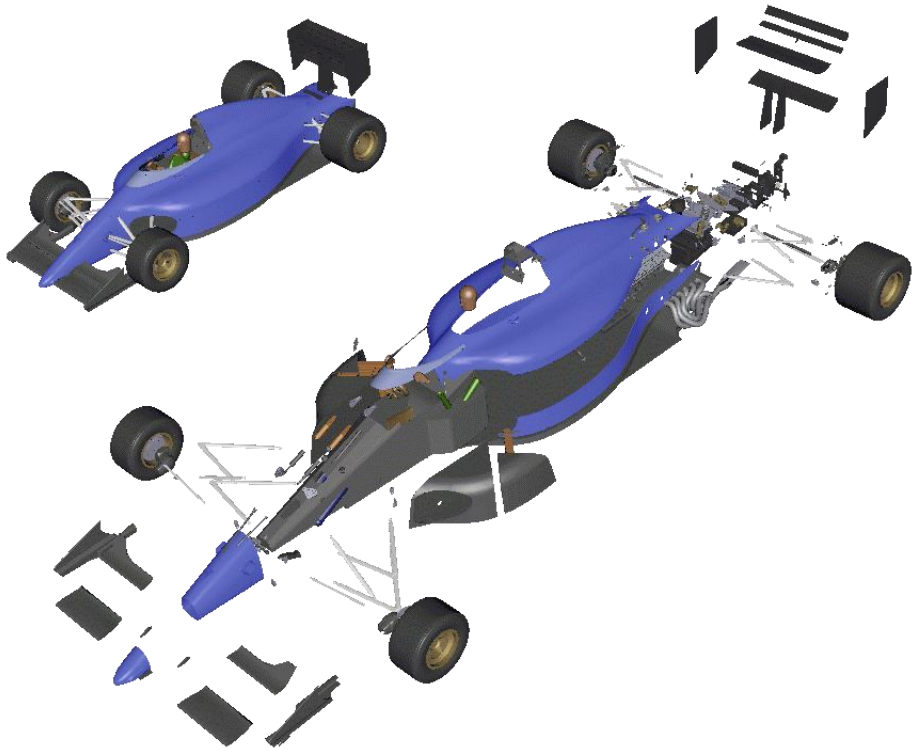




- **Innere Knoten**
- **Geometrieblätter**

Baumhierarchie
Beispiel

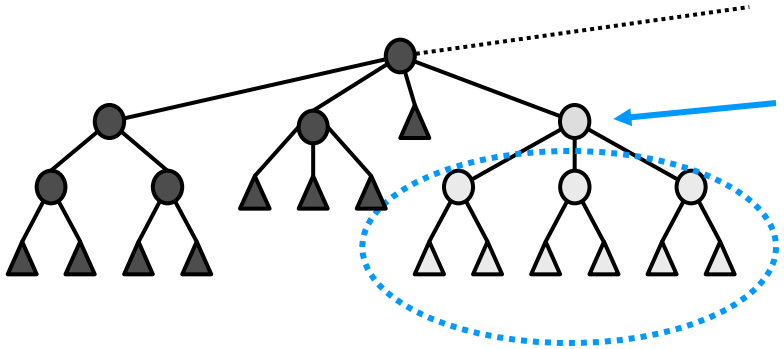




5.2 Verdeckungsrechnung

- Hierarchische Verdeckungsrechnung testet Baum **beginnend an der Wurzel**
- Die **Grenzhüllen der inneren Knoten** werden Verdeckungstests unterworfen
- Grenzhülle des inneren Knoten **umhüllen** alle Grenzhüllen der Kinderknoten
- **Abhängig** von diesem Test werden deren **Kinder entfernt, traversiert** oder **dargestellt**

5.2 Verdeckungsrechnung

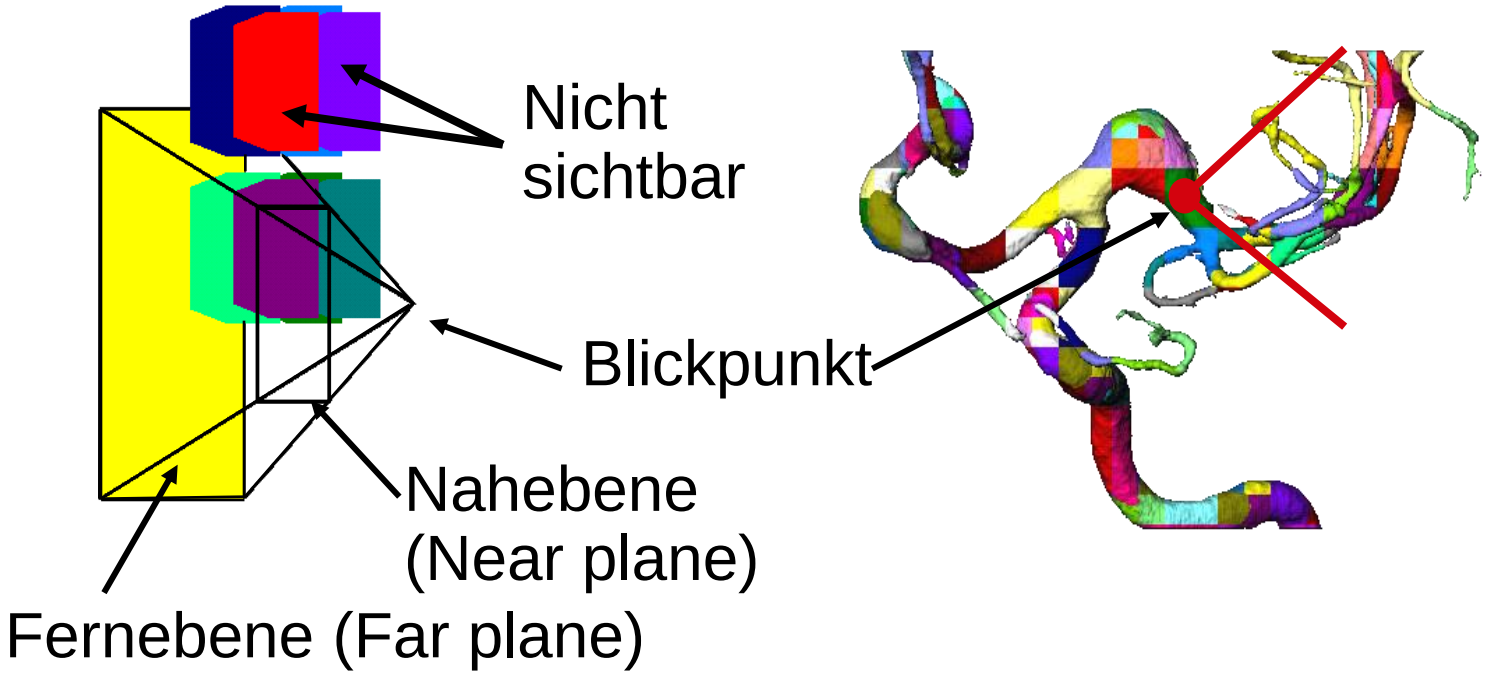


Grenzhülle ist nicht sichtbar

Grenzhülle der Kinder sind dann auch nicht sichtbar

Blickfeldtest (View-Frustum-Culling)

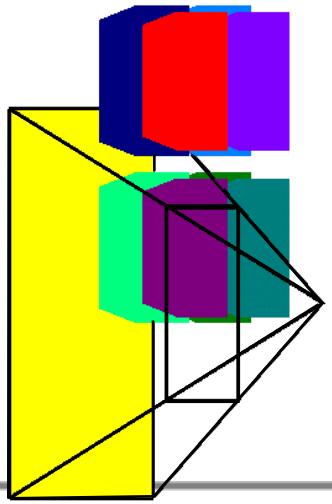
- Liegt Grenzhülle im Sichtvolumen?

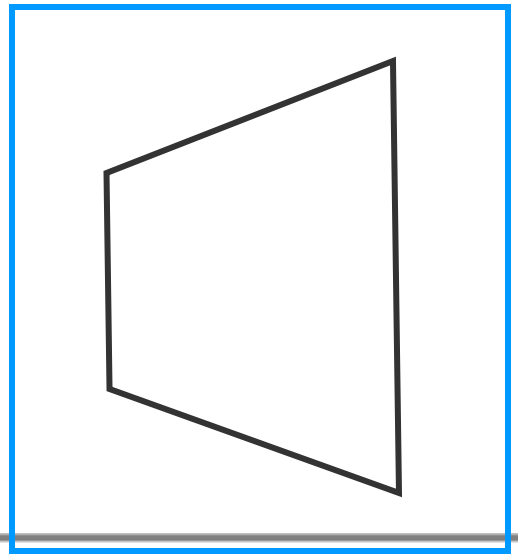


5.2 Verdeckungsrechnung

Blickfeldtest (Viewfrustum-Culling)

- **Schneide** Grenzhüllen mit Sichtvolumen/Frustum
- Einfach nach **perspektivischer** Transformation (Einheitswürfel)
- Sonderfall: Grenzhülle **umfasst** Sichtvolumen
- Hierarchischer oder linearer Test

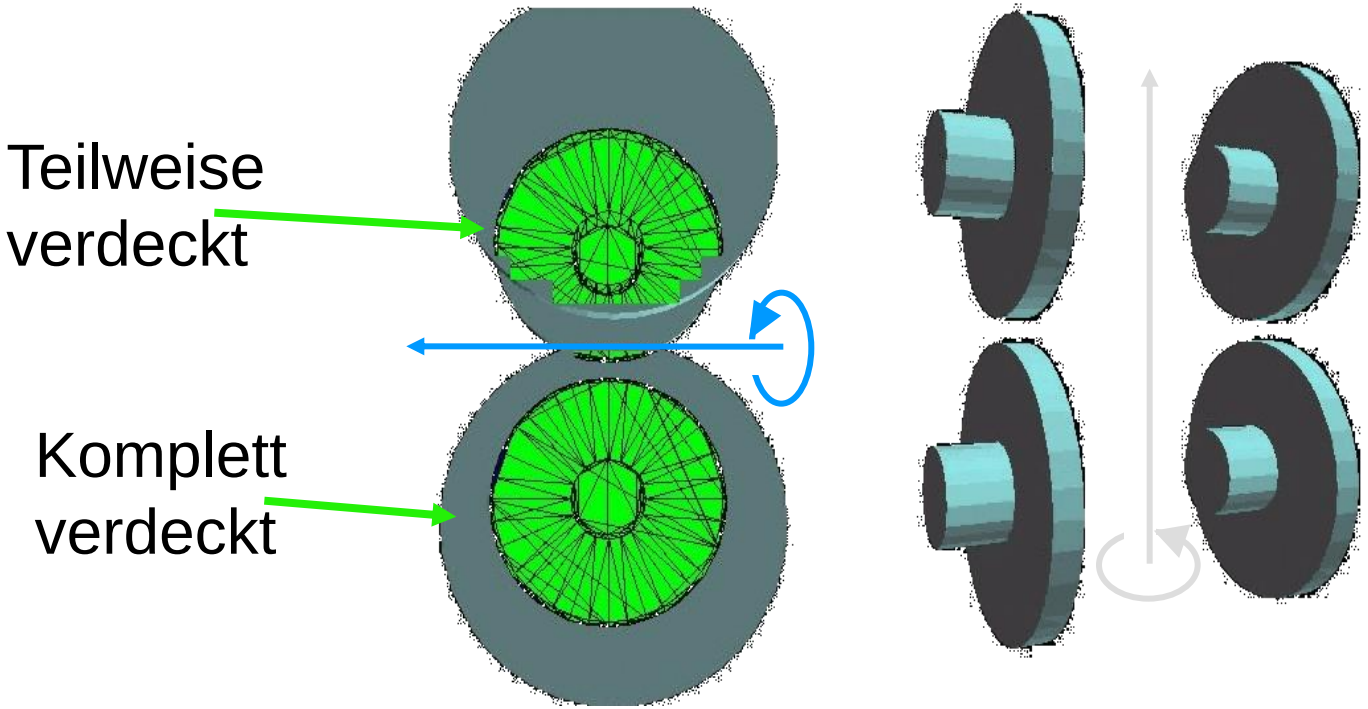




5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

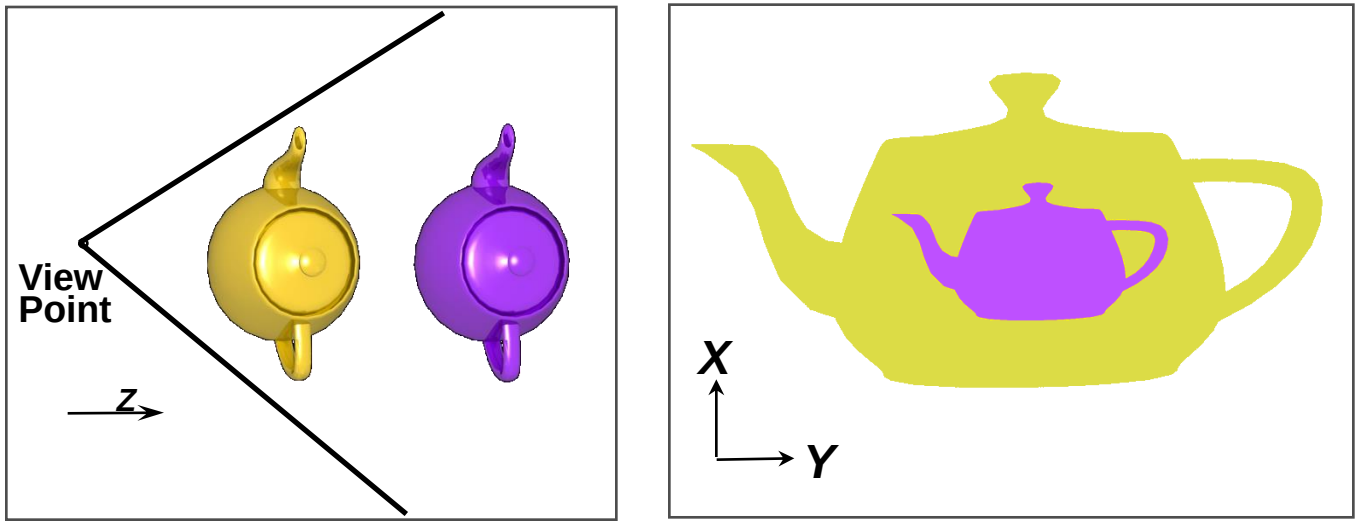
- Ist Geometrie von Geometrie verdeckt?



5.2 Verdeckungsrechnung

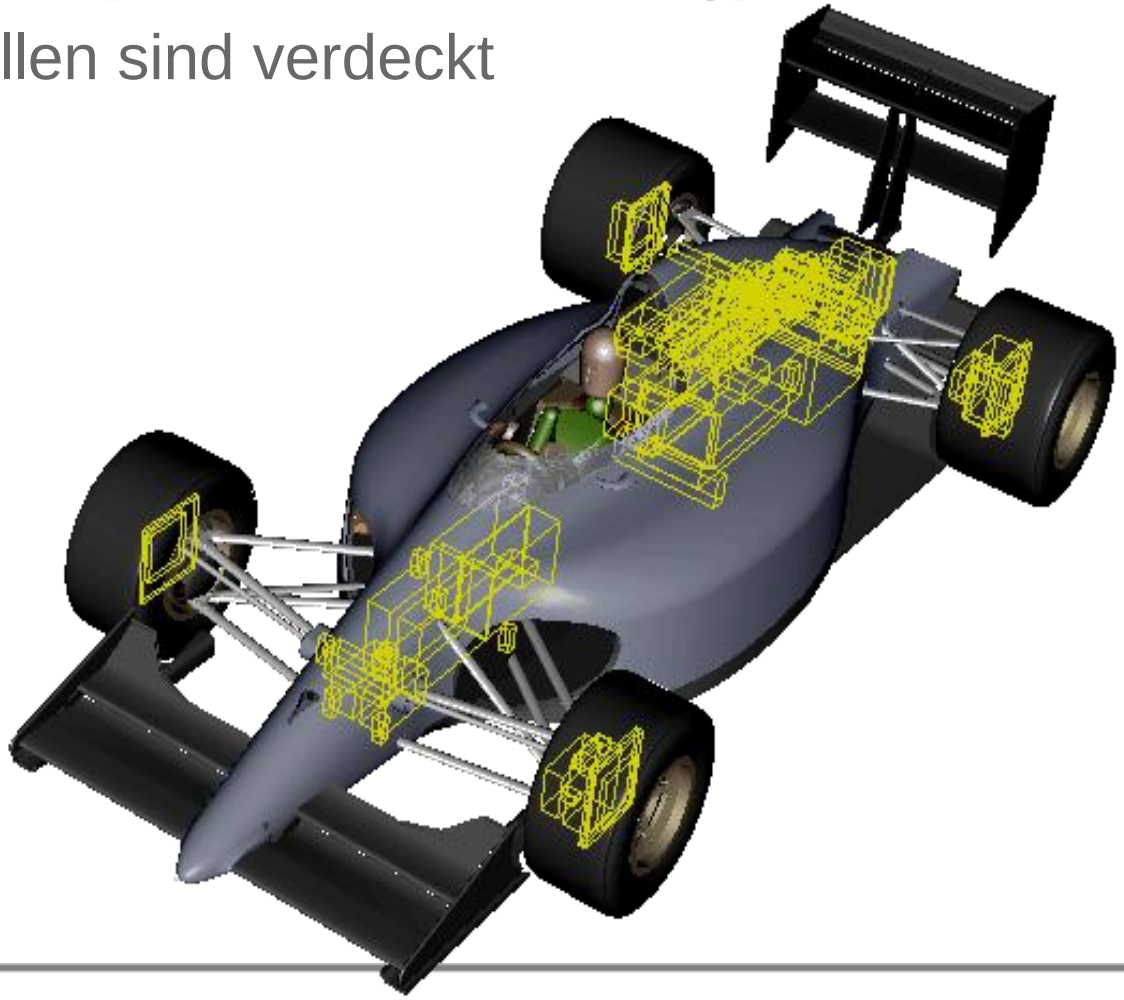
Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

- Ist Geometrie von Geometrie verdeckt?



Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

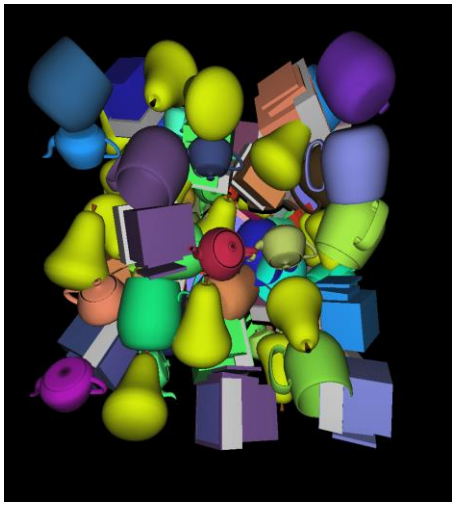
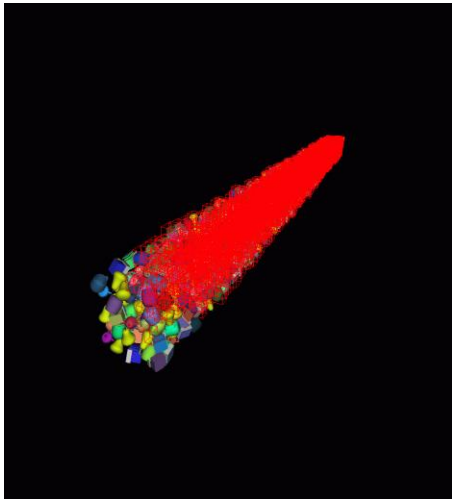
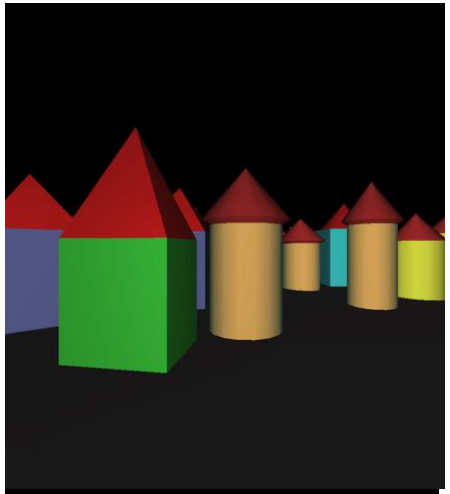
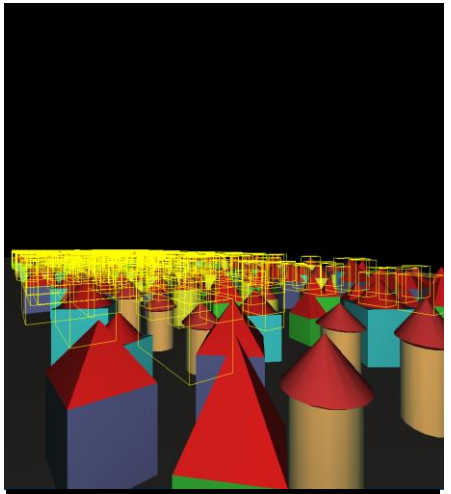
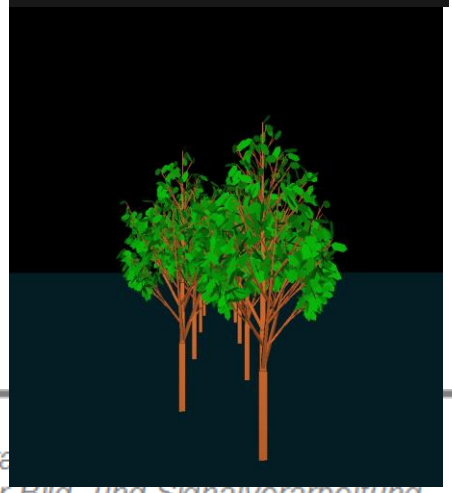
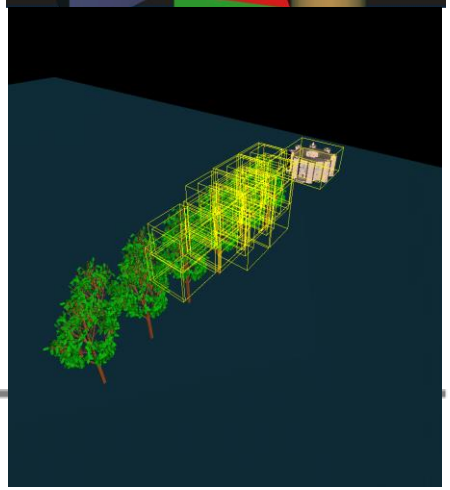
- Gelbe Grenzhüllen sind verdeckt



5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

- Gelbe/rote Grenzhüllen sind verdeckt

5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

- Wie wird **Verdeckung erkannt**?
- **Wo ändert** sich etwas, wenn man Objekt rendern würde.
- **Objekt**raum und **Bildraum**verfahren
  - Hierarchical Z-Buffer (Greene 1993)
  - Hierarchical Occlusion Maps (Zhang 1997)
  - Virtual Occlusion Buffer (Bartz 1999)

- 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

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

Hardware-Tests in OpenGL (u.a.)

- Occlusion-Flag: **Binäre** Antwort, ob etwas sichtbar wird.
- Occlusion-Queries: **Quantitative** Antwort (wieviel)
- **Stop-and-Wait**-Paradigma
  - Pro Frame, pro Objekt:
    - Teste Hüllvolumen
    - Warte Occlusion-Antwort ab
    - Wenn sichtbar, rendere assoziierte Geometrie
    - Sonst entferne Objekt (culling)
  - Warten (Pipeline-Flush) führt zu Pipeline-Stall

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

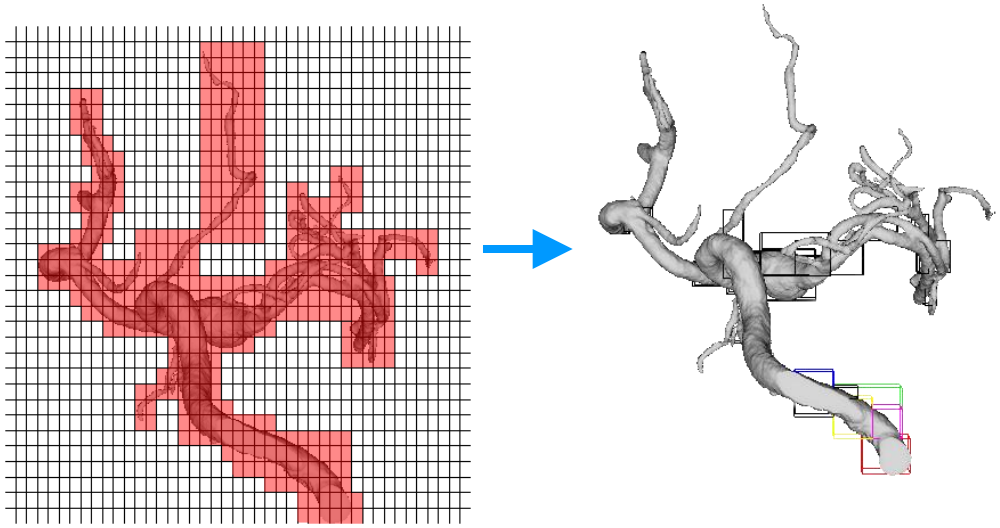
Hardware-Tests in OpenGL (u.a.)

- **Stop-and-Wait**-Paradigma
  - Occlusion-Flag: **Binäre** Antwort ob etwas sichtbar wird
  - Occlusion-Queries: **Quantitative** Antwort (wieviel)
- Multiple Queries: Wartet nicht auf **Zwischenergebnisse**
  - **Gebündelte** Queries
  - Kein Pipeline-Stall
  - Nutzt aber auch **keine Zwischenergebnisse** aus
  - Leider: Gesparte Stalls viel billiger als zuviel gerenderte Geometrie: 1/10, 1/20
  - Also: **Vorsortierung** in gegenseitig unabhängige Objekte (sich nicht gegenseitig verdeckend)

5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

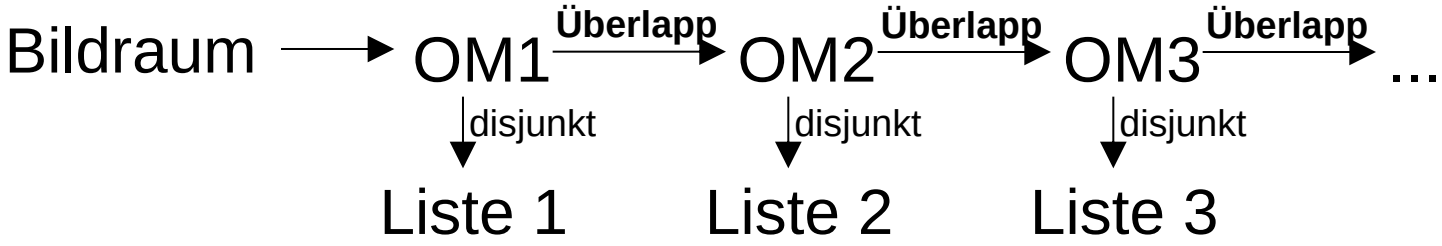
- Vorsortierung in gegenseitig unabhängige Objekte
- Vorsortierung mit **OccupancyMap** Hierarchie [Staneker 2003]: Nutze Kohärenz und **reduziere Falsch-Positive**
- Günstiger Vorab-**Overlap**-Test
- Spart auch **redundante** Occlusion-Queries



5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

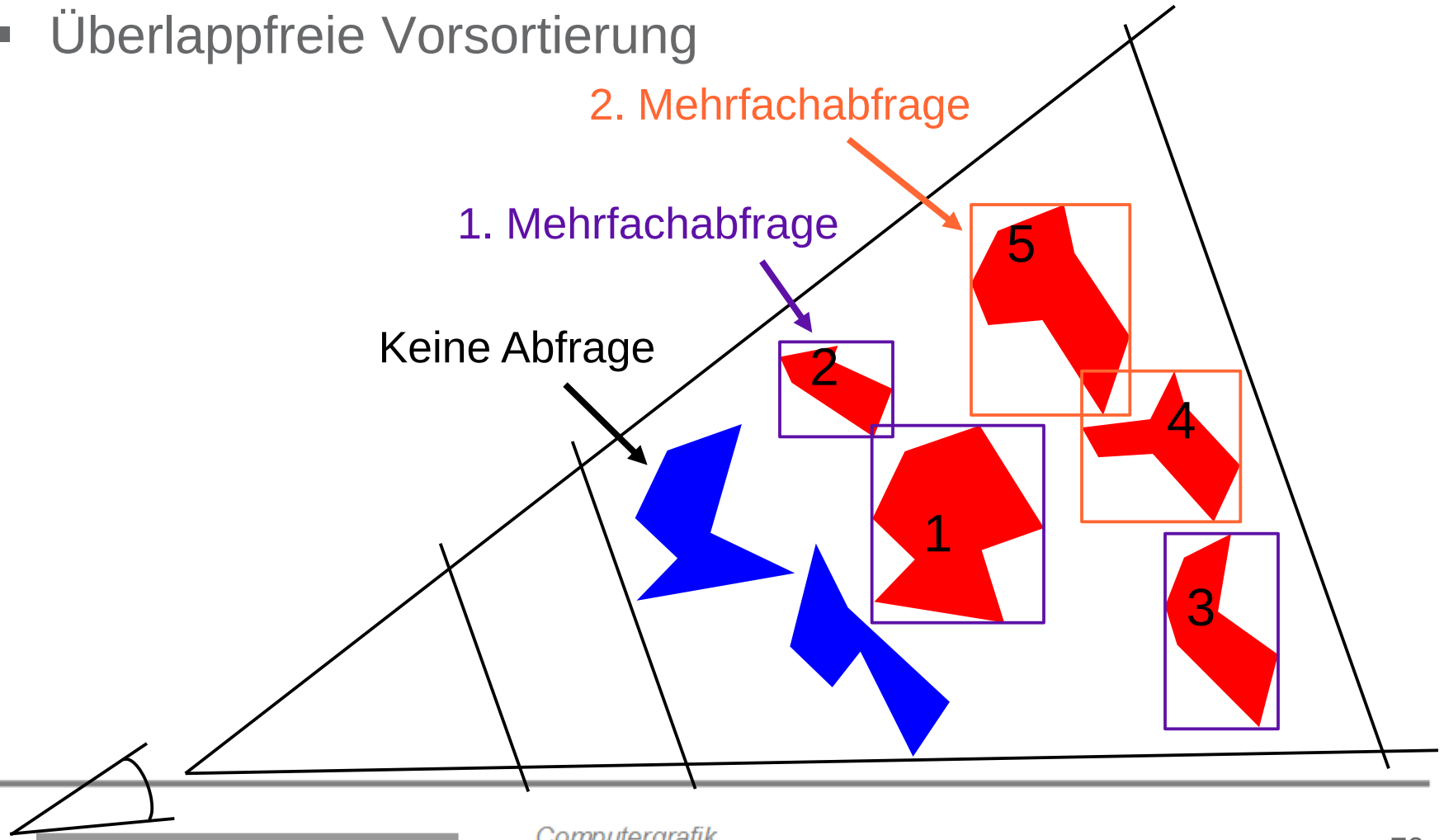
- Vorsortierung in **nicht überlappende** Objekte
- Nutze **mehrere** OccupancyMaps (OM)



5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

- Überlappfreie Vorsortierung



5.2 Verdeckungsrechnung

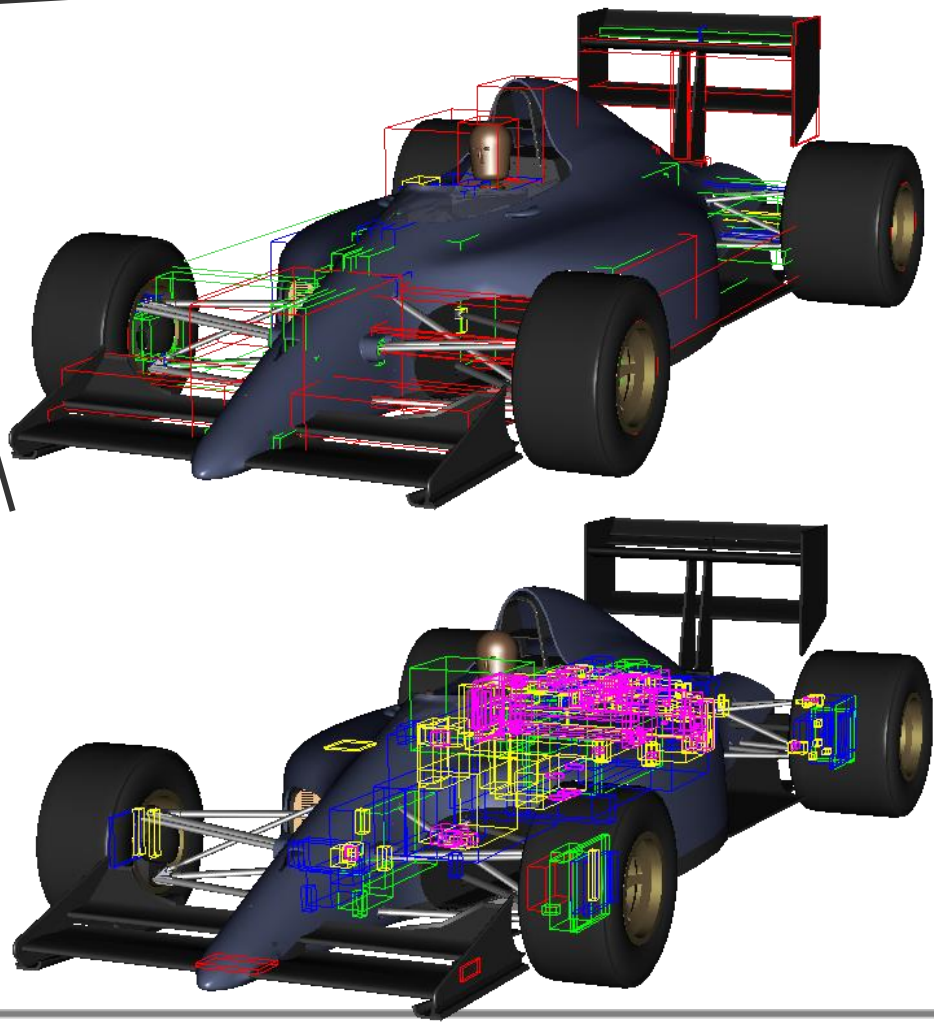
Occupancy Map für Gesamtfenster

Occupancy Map für 1. Mehrfachabfrage

Occupancy Map für 2. Mehrfachabfrage

Occupancy Map für 3. Mehrfachabfrage

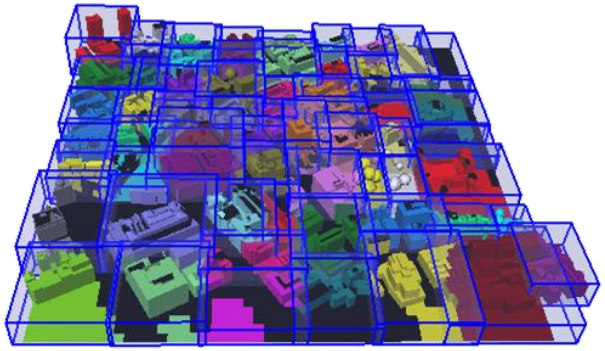
Occupancy Map für 4. Mehrfachabfrage



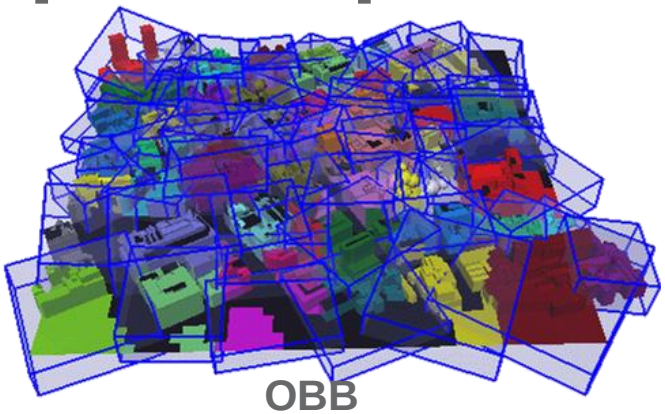
5.2 Verdeckungsrechnung

Optimiere Hüllvolumen

- Reduziere **Falsch-Positive** [Bartz 2001]



AABB



OBB

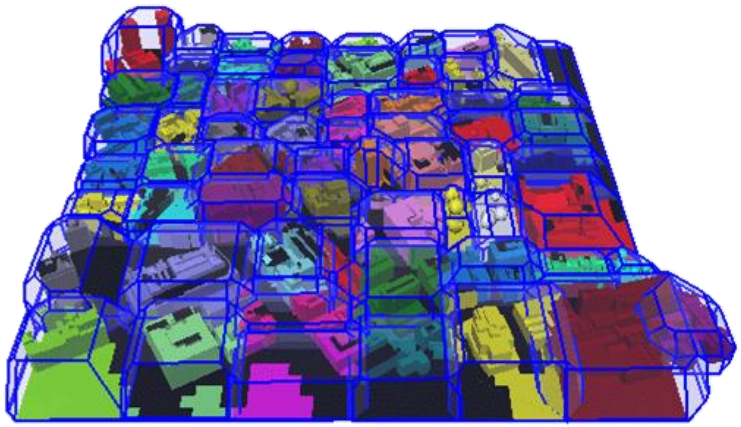
Bounding Spheres

Konvexe Hüllen

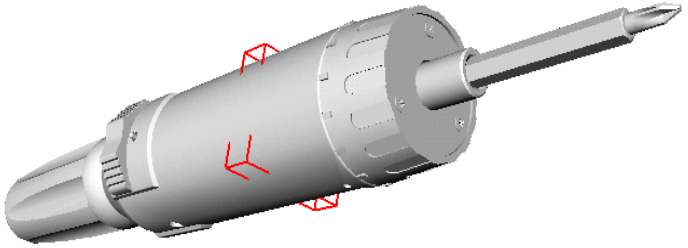
5.2 Verdeckungsrechnung

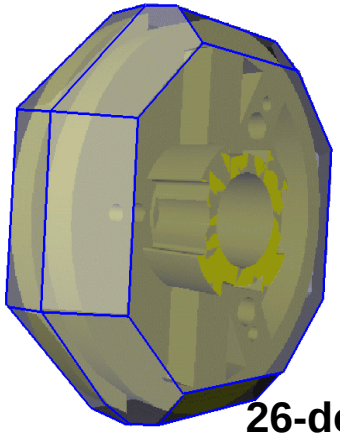
Optimiere Hüllvolumen

- Reduziere **Falsch-Positive** [Bartz 2001]

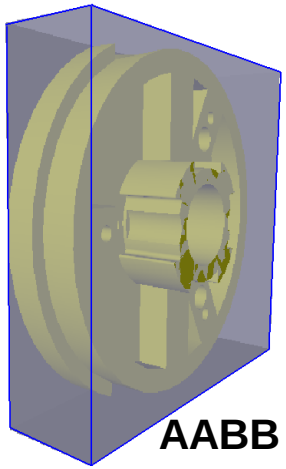


k-DOPs





26-dop

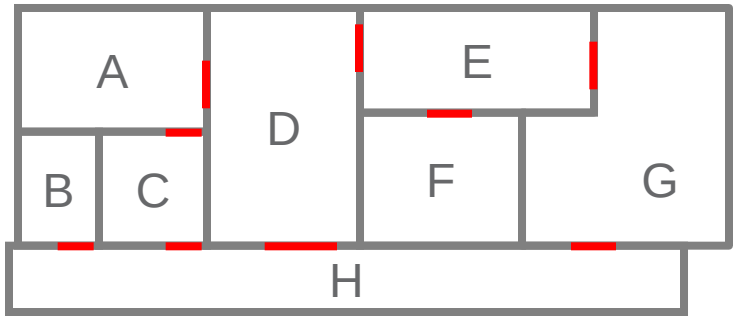


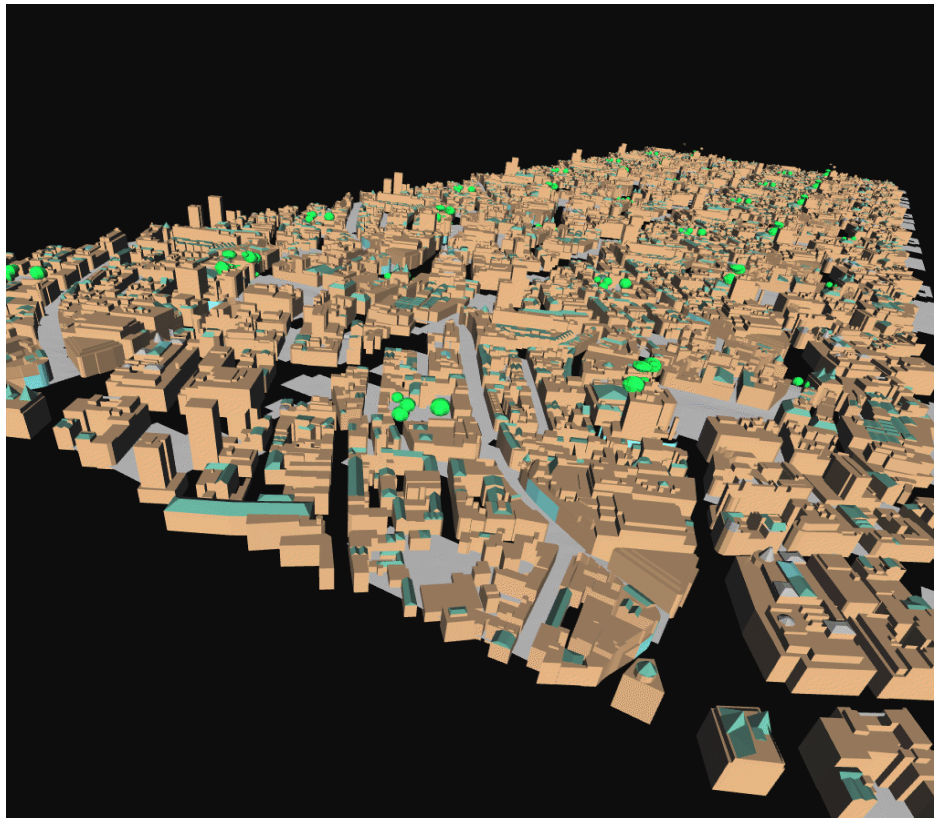
AABB

5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

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

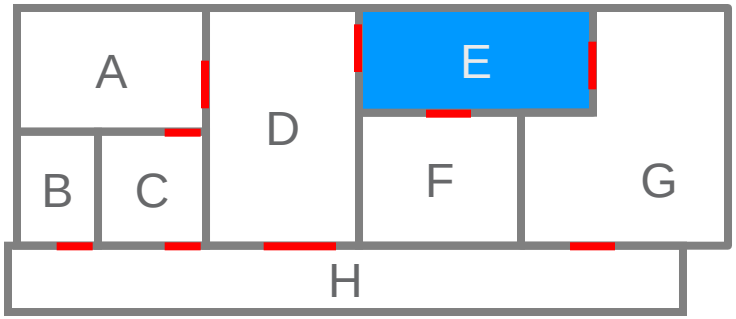


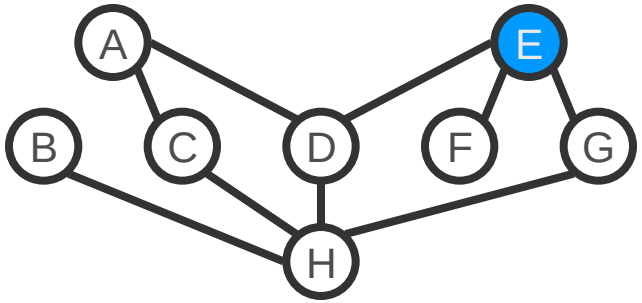


5.2 Verdeckungsrechnung

Verdeckungstest (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

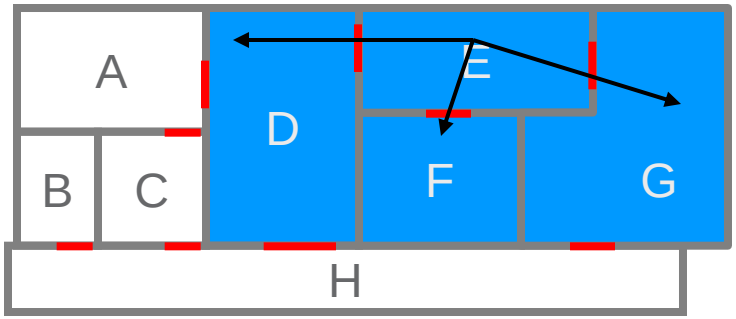


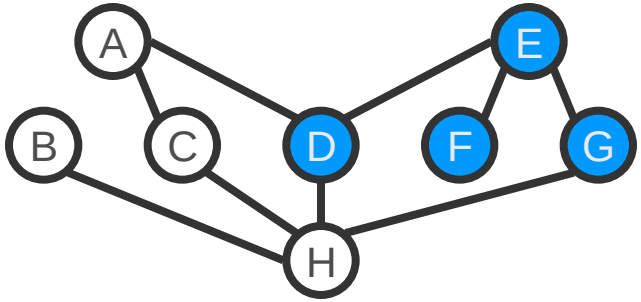


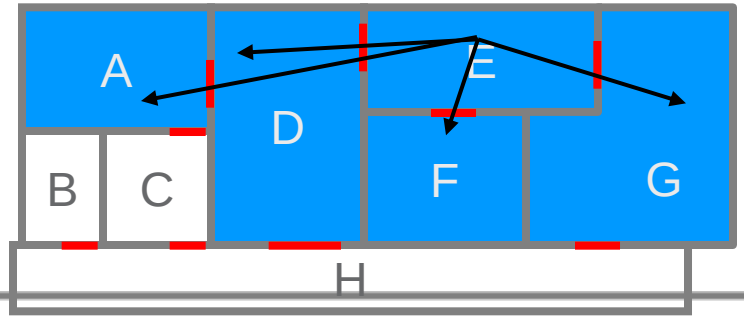
5.2 Verdeckungsrechnung

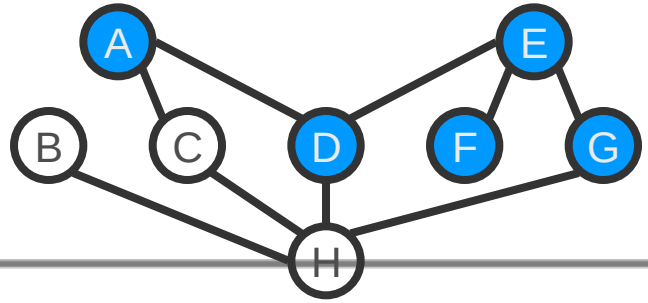
Verdeckungstest (Occlusion-Culling)

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









Quellen

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