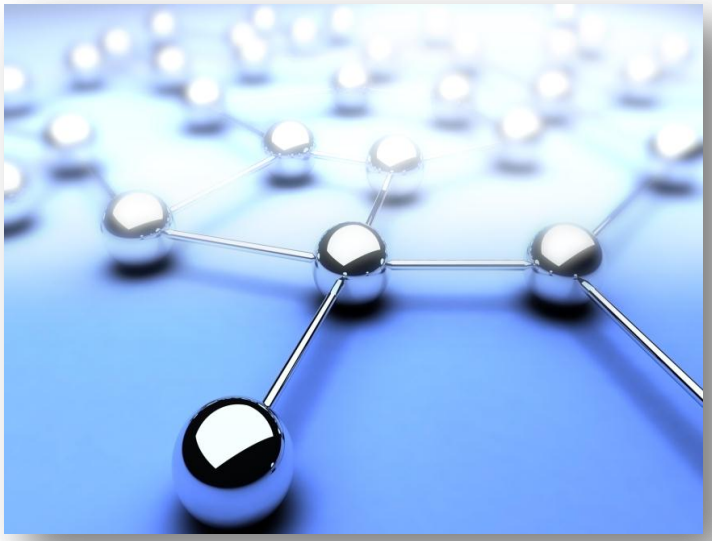
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Vorlesung Algorithmen für hochkomplexe Virtuelle Szenen

Sommersemester 2012



Matthias Fischer
mafi@upb.de

Vorlesung 8
29.5.2012

Übersicht

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Rendering mit Color-Cubes

- Motivation
- Ansatz und Idee
- Datenstruktur
- Rendering
- Aufbau der Hierarchie
- Laufzeit
- Bildqualität
- Artefakte
- Experimentelle Ergebnisse

Literatur

- Tomas Akenine-Möller, Eric Haines
  Real-Time Rendering
  AK Peters, 2002
- David Luebke, Martin Reddy, Jonathan D. Cohen
  Level of Detail for 3D Graphics
  Morgan Kaufmann Publishers, 2002

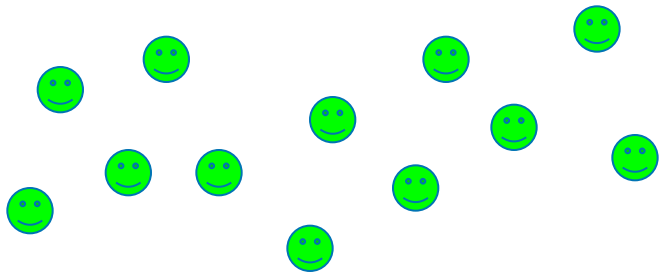
- Bradford Chamberlain, Tony DeRose, Dani Lischinski, David Salesin, John Snyder
  Fast rendering of complex environments using a spatial hierarchy
  Proc. Graphics Interface ’96, p. 132–141, 1996

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

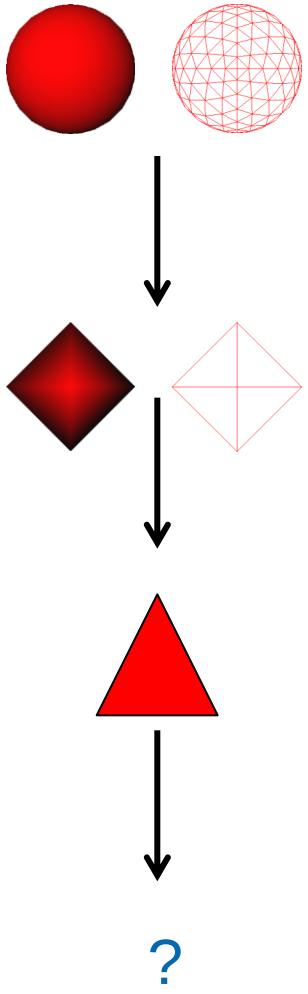
Zentrales Problem bei diskretem Level of Detail

- Einzelne Objekte lassen sich nicht „beliebig klein“ reduzieren.
- Ein Dreieck ist die untere Grenze.
- Auch für ein Dreieck entstehen Renderingkosten.

Wie rendern wir,
wenn die Anzahl Objekte in der Szene größer ist,
als die Anzahl Dreiecke, die in Echtzeit darstellbar sind?



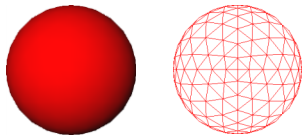
.....

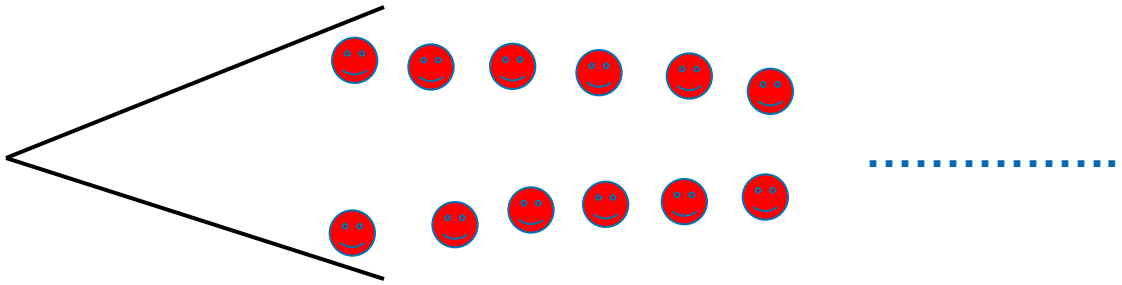


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Occlusion Culling und danach?

Wie rendern wir, wenn die Anzahl sichtbarer Objekte in der Szene größer ist, als die Anzahl Dreiecke, die in Echtzeit darstellbar sind?





Color-Cubes
Ansatz und Idee

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Zentraler Ansatz hier

- Wir fassen Gruppen von Objekten zusammen
- und ersetzen sie durch eine Ersatzrepräsentation.

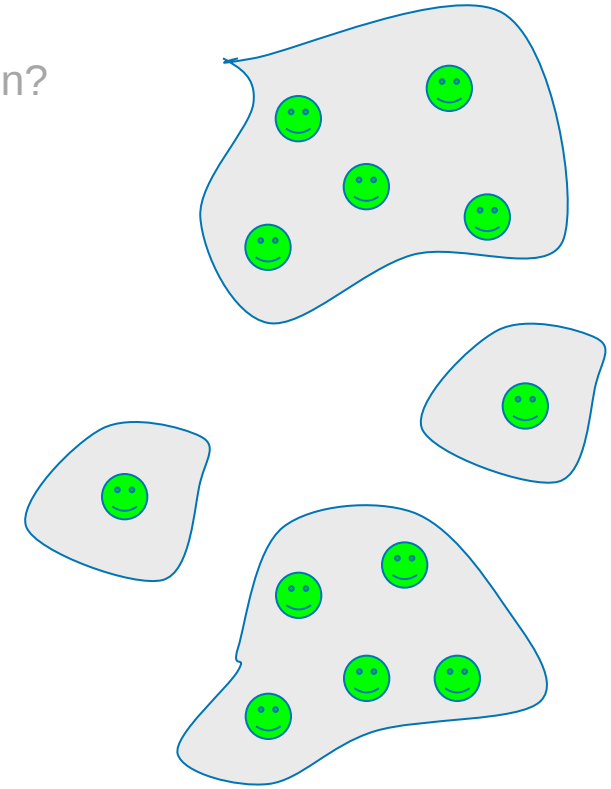
Auftretende Fragen

1. Welche Objekte fassen wir zu einer Gruppe zusammen?
2. Ersetzen wir Gruppen auch wieder durch Ersatzrepräsentanten? Gehen wir hierarchisch vor?
3. Wie ersetzen wir die Gruppe?

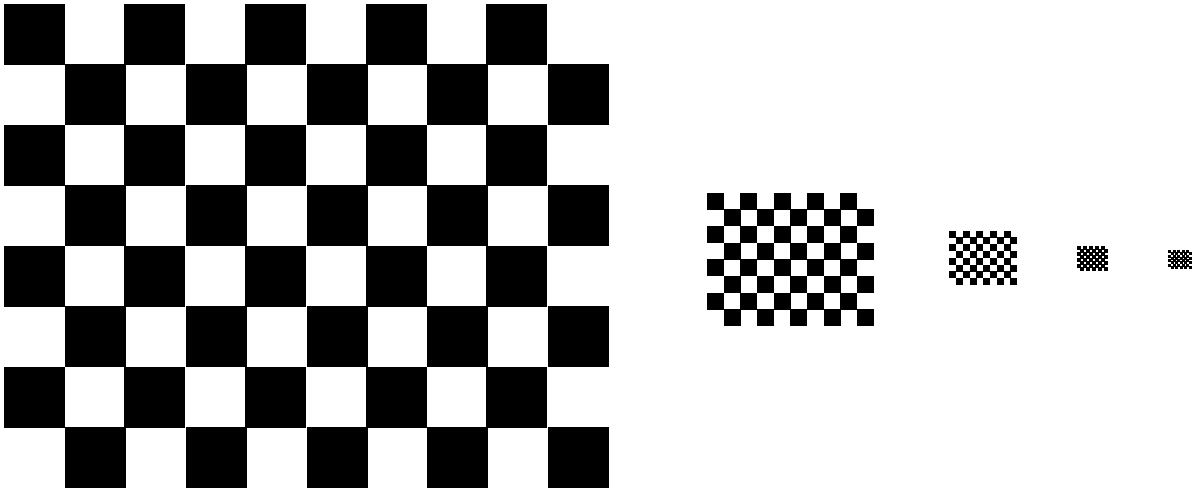
Color-Cubes
Ansatz und Idee

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

1. **Welche Objekte fassen wir zu einer Gruppe zusammen?**
2. Ersetzen wir Gruppen auch wieder durch Ersatzrepräsentanten? Gehen wir hierarchisch vor?
3. Wie ersetzen wir die Gruppe?

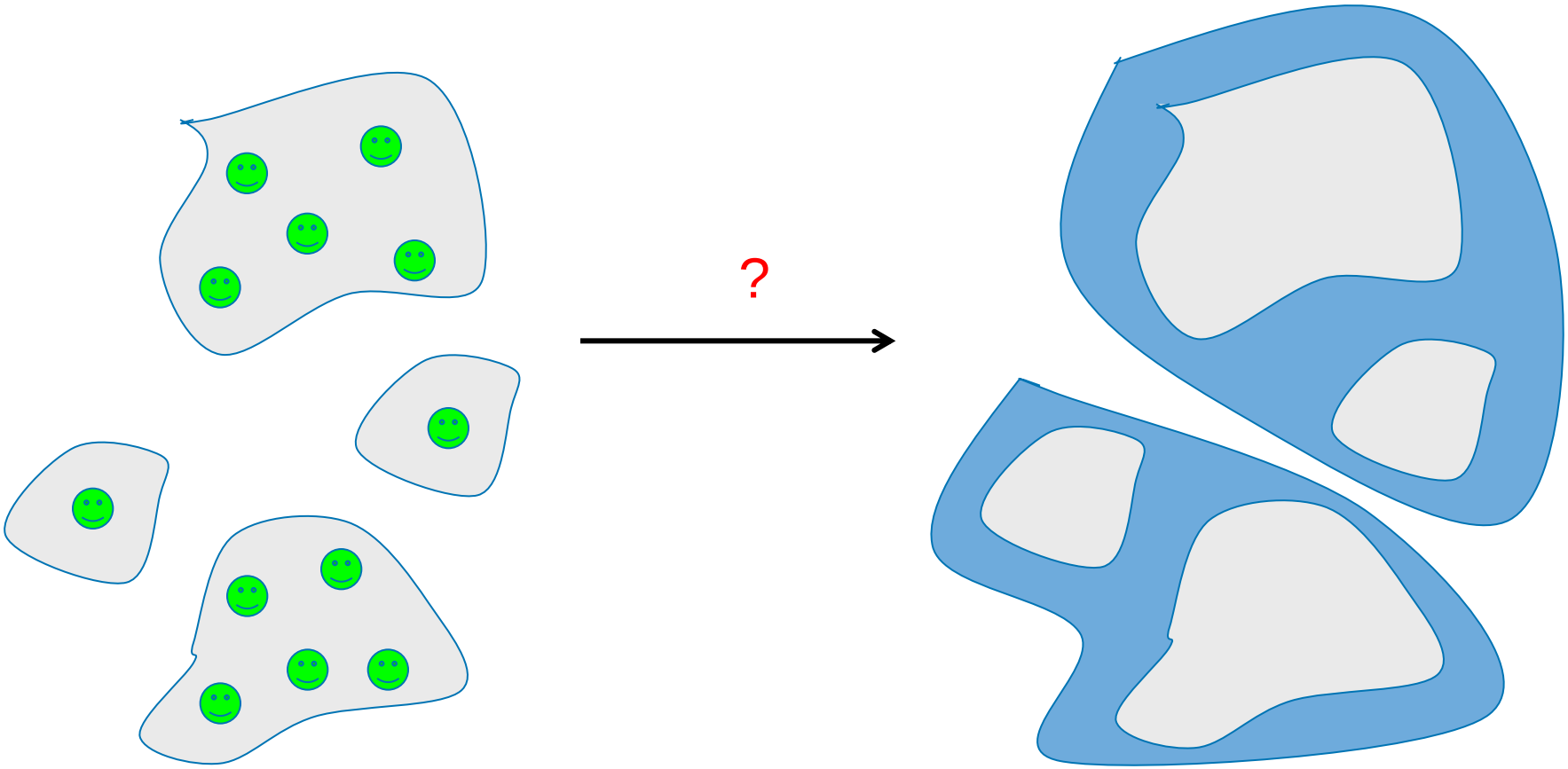


- Objekte können in Clustern auftreten
- Abstand der Objekte zueinander kann größer sein, als ihr Durchmesser (das erschwert die Ersetzung)



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

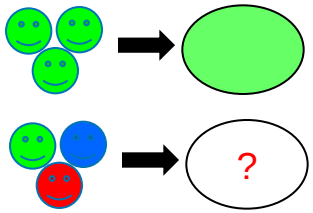
1. Welche Objekte fassen wir zu einer Gruppe zusammen?
2. **Ersetzen wir Gruppen auch wieder durch Ersatzrepräsentanten? Gehen wir hierarchisch vor?**
3. Wie ersetzen wir die Gruppe?



Color-Cubes
Ansatz und Idee

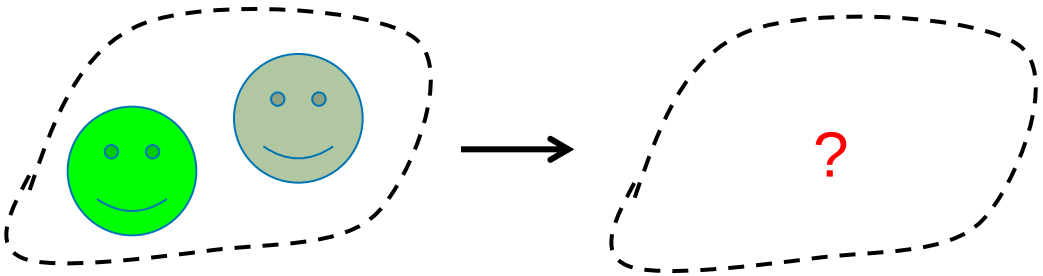
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

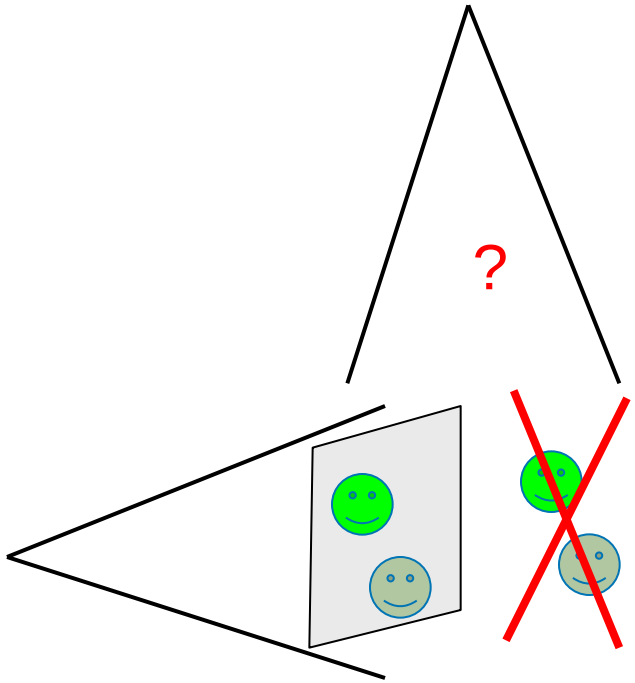
1. Welche Objekte fassen wir zu einer Gruppe zusammen?
2. Ersetzen wir Gruppen auch wieder durch Ersatzrepräsentanten? Gehen wir hierarchisch vor?
3. **Wie ersetzen wir die Gruppe?**



Möglichkeiten

- Ersetze ganze Gruppen durch Bilder (Texturen) (z.B. Hierarchical Image Caching)
- „Neue Polygonnetze“ (z.B.: Level of Detail)

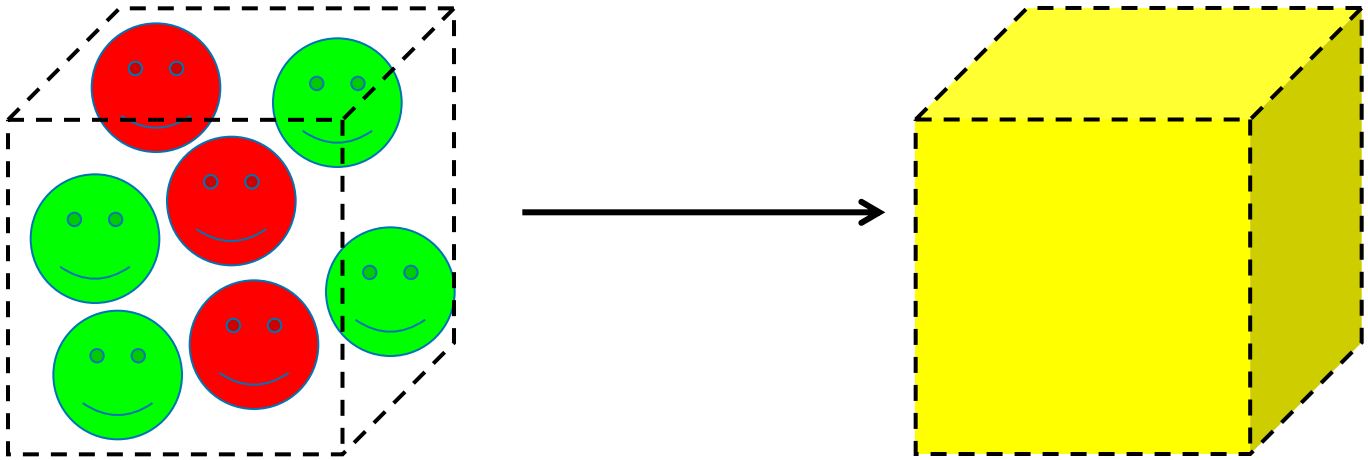




HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Zentrale Idee

Ersetze einen vollständigen Bereich einer virtuelle Szene durch einen gefärbten Würfel der umschließenden Boundingbox




HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Drei Fragen sind zu klären

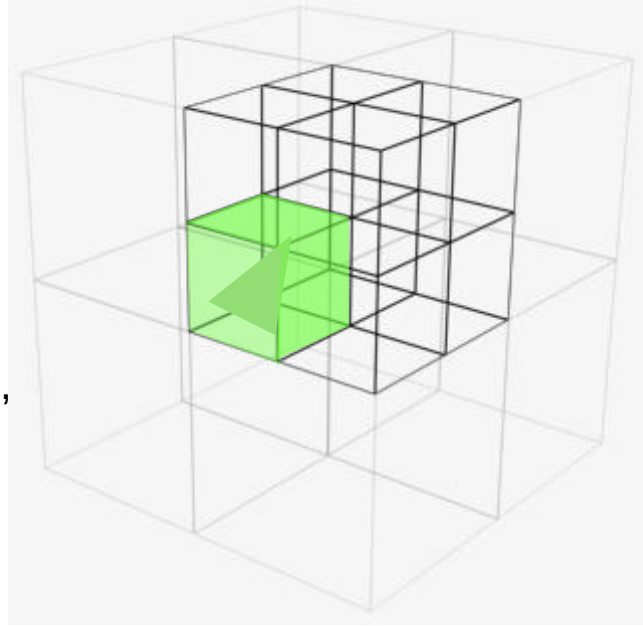
1. Mit welcher Datenstruktur verwalten wir die Szene und die Ersetzungen?
2. Wo speichern wir die Ersetzungen?
3. Wie berechnen wir die Ersetzungen?

Color-Cubes
Datenstruktur

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Mit welcher Datenstruktur verwalten wir die Szene/Ersetzungen?

- Wir bauen einen 3D-Octree mit Dreiecken auf.
- Alle Dreiecke werden in den Blättern gespeichert.



Wie behandeln wir Dreiecke, die Begrenzungen der Octreezellen schneiden?

- Wir speichern sie mehrfach (als Referenzen) in allen Kindern, mit denen sie sich überschneiden.

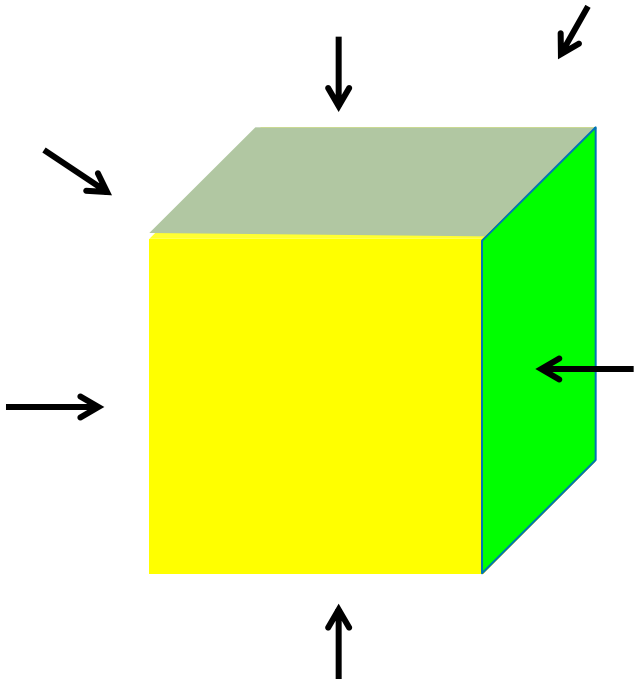
Wie vermeiden wir, dass dadurch Dreiecke doppelt gezeichnet werden?

- Wir setzen ein Flag, das angibt, ob das Dreieck bereits gezeichnet wurde.

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wie berechnen wir die Ersetzungen?

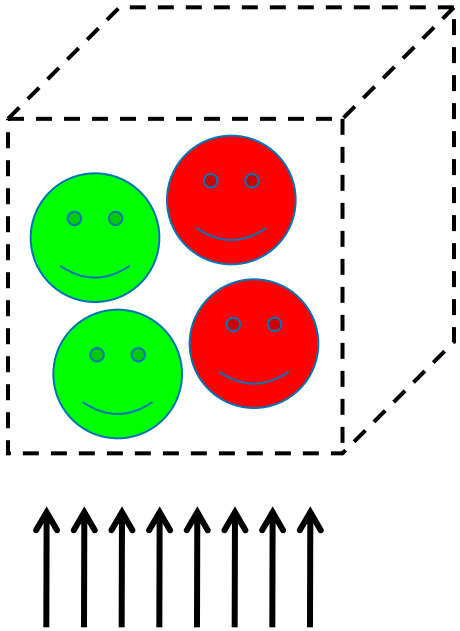
- Wir speichern mit jeder Octreezelle einen Würfel „Color-Cube“, der genauso groß ist wie die Zelle.
- Jede der 6 Seiten hat einen Farbwert und einen „Undurchsichtigkeitswert“ (Transparenzwert). (1.0=Undurchsichtig, 0.0=vollständig transparent)

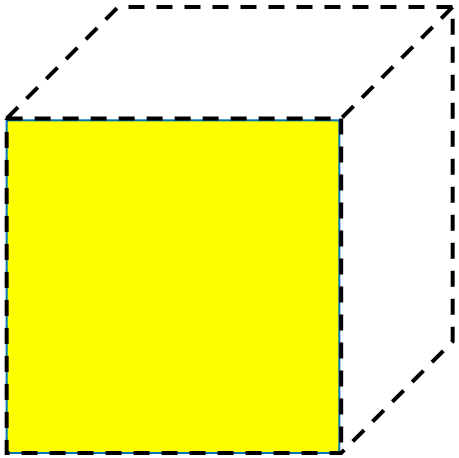


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Was gibt der Farbwert für jede Würfelseite wieder?

- der Farbwert und die Transparenz approximieren eine orthogonale Sicht auf die Geometrie in der Zelle
- wird im Preprocessing berechnet





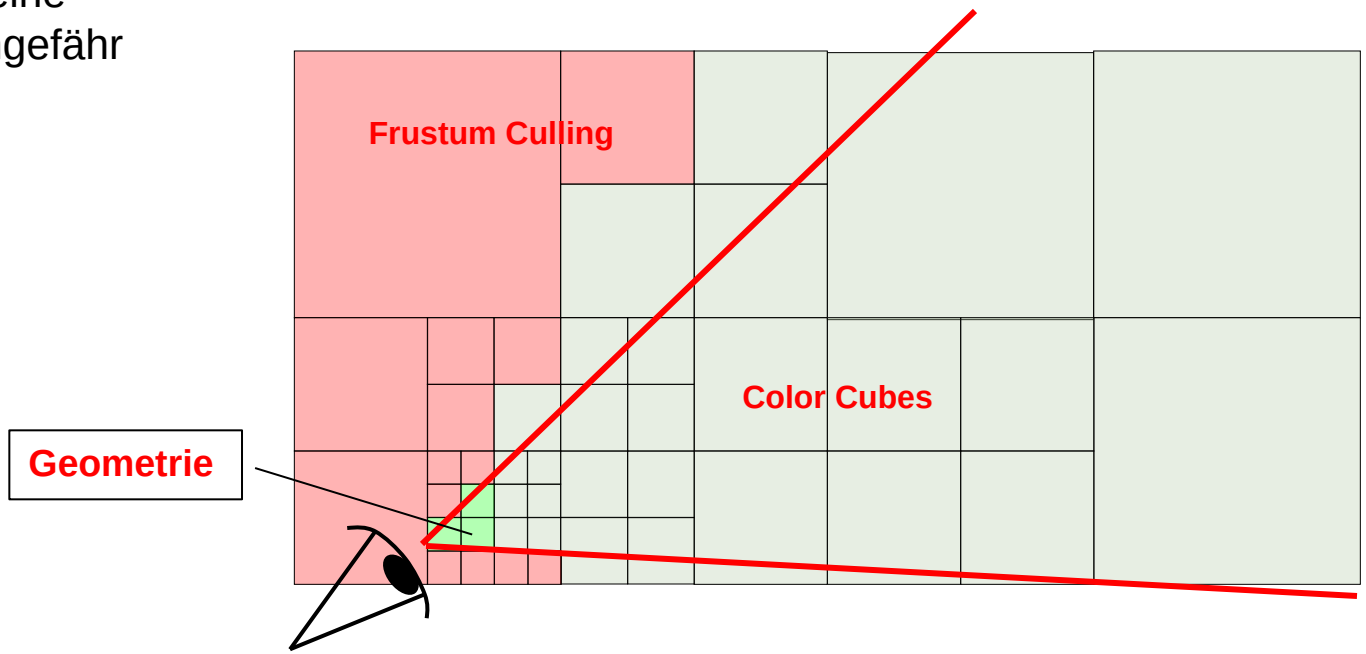
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wie wird die Szene gerendert?

(Idee, Algorithmus s. nächste Folie)

- Wir rendern Octreezellen, deren projizierte Größe ungefähr gleich einem festen Schwellwert ε (z.B. ein Pixel) ist, mit dem dazugehörigem Color-Cube.
- Octreezellen, deren projizierte Größe größer als ε ist und die Szenengeometrie (Dreiecke) enthalten, stellen wir mit der Geometrie dar.

In der Skizze haben die blau dargestellte Zellen eine projizierte Größe ungefähr gleich ε



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Algorithmus Render(octreezelle)

if „kein Teil der Octreezelle überlappt das Frustum“ **return**

if projizierte Größe der Octreezelle ≤ ε
then „Rendere den Color-Cube der Octreezelle“

else if „Octreezelle ist ein Blatt“
then „Rendere die Geometrie der Zelle“

else for alle „Kinder“ der Octreezelle (in back-to-front-order)
do Render(„Kind“)

Aufgerufen wird der Renderingalgorithmus mit dem Wurzelknoten des Octrees.

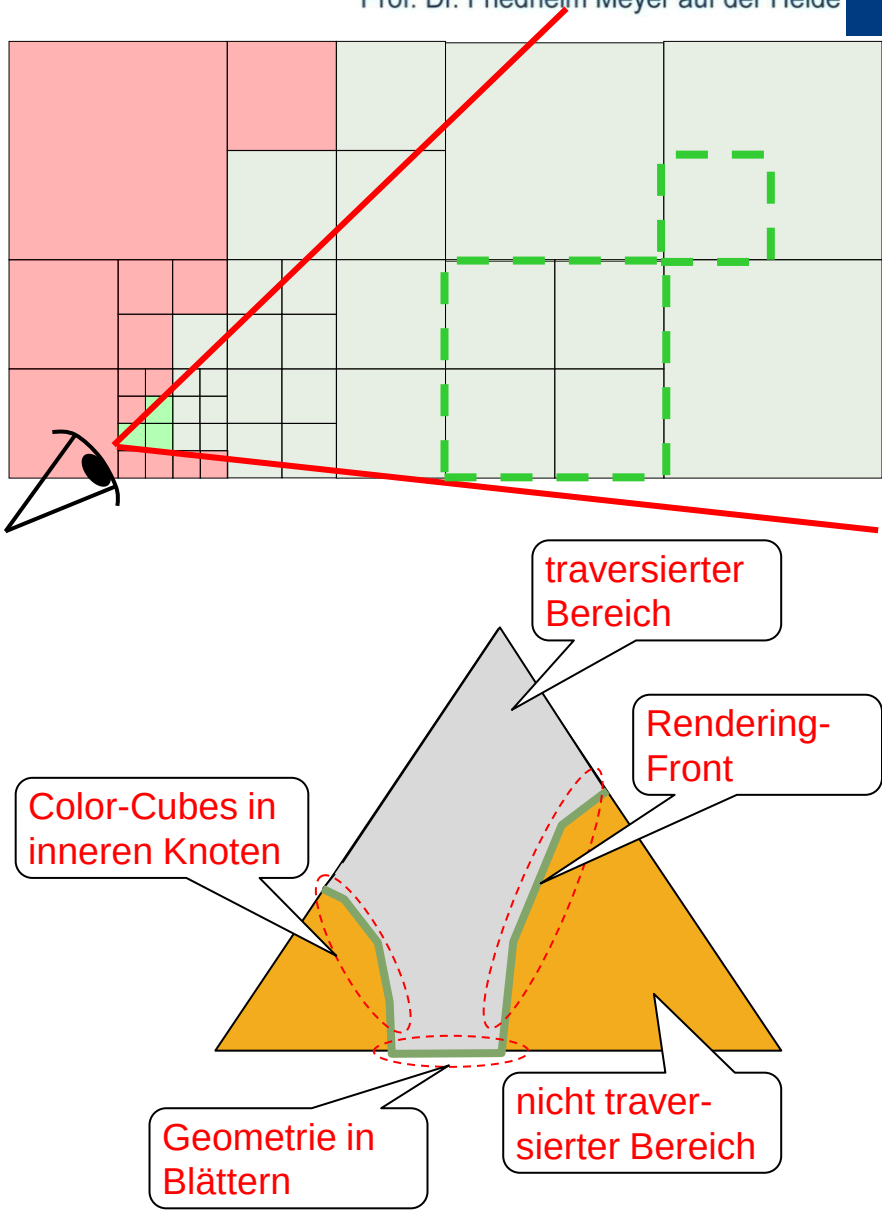
Color-Cubes
Rendering

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wo werden Color-Cubes / Zellen mit Geometrie gerendert?

Im Octree bildet sich eine Rendering-Front:

- Knoten unterhalb der Front werden nicht traversiert.
- Für Knoten oberhalb der Front findet kein Rendering statt.
- Für innere Knoten auf der Front wird der Color-Cube gerendert (Knoten an dem die Traversierung abgebrochen wird)
- Für Blätter auf der Front wird die Geometrie gerendert



Color-Cubes
Rendering

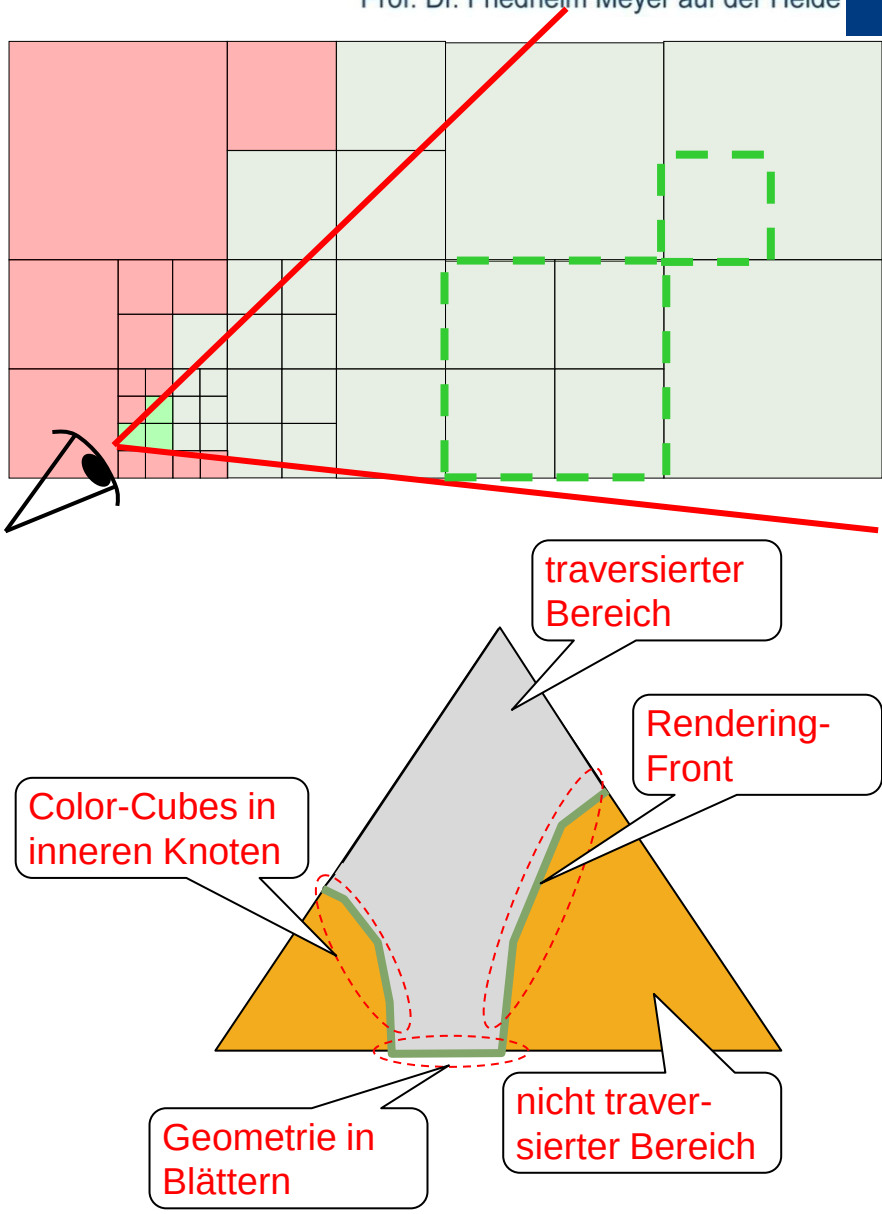
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wo werden Color-Cubes / Zellen mit Geometrie gerendert?

An welcher Stelle im Frustum werden welche Zellen gerendert?

- Color-Cubes im hinteren Teil des Frustums (blaue Zellen),
- je weiter entfernt, desto höher im Baum, desto größer der Zellendurchmesser,
- projizierte Größe immer ungefähr ε

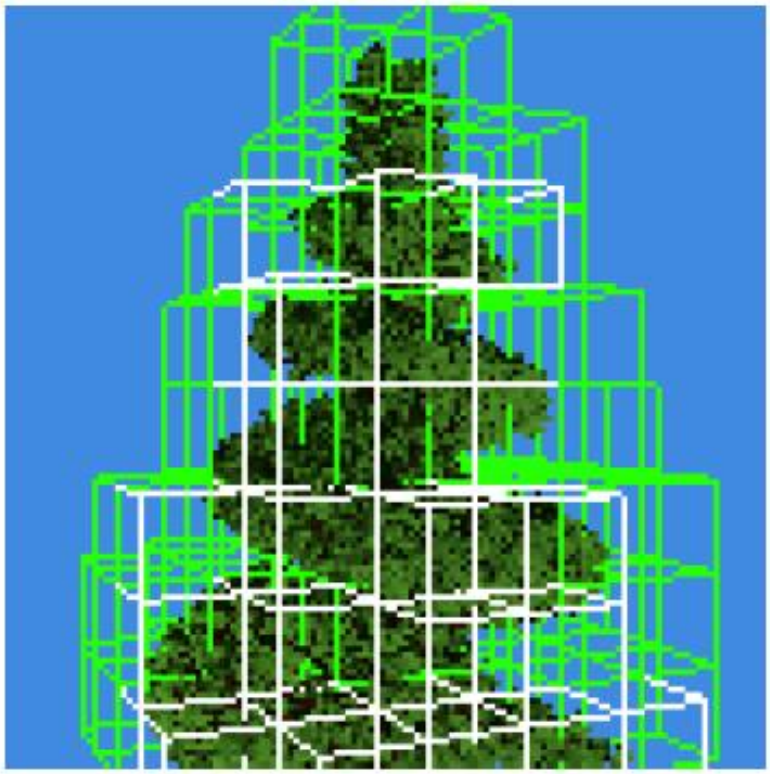
- Blattzellen mit Geometrie im vorderen Teil des Frustums (grüne Zellen),
- projizierte Größe ist größer als ε

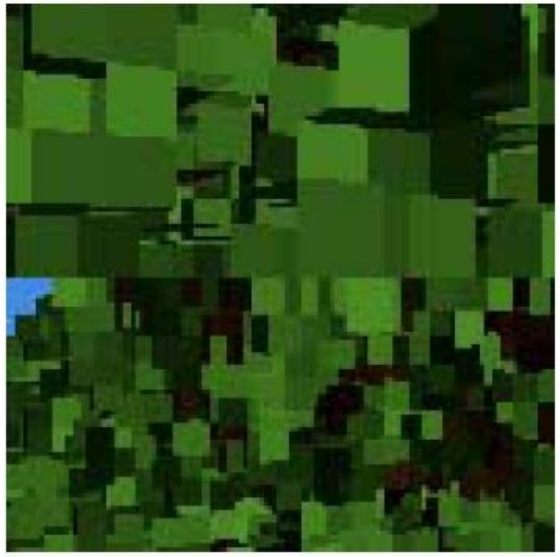


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Beispiele

- Weiße Zelle enthalten Geometrie, grüne sind Color-Cubes.
- Rechts: vergrößerte Color-Cube Darstellungen.





HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Aufbau der Hierarchie

- Aufbau eines Octree und Verteilung der Dreiecke.
- Berechnung der Color-Cubes für die Blätter (initial).
- Berechnung der Color-Cubes für interne Knoten

Schritt 2 und 3 werden in einem Post-Order Durchlauf des Octrees berechnet, d.h. erst werden die Color-Cubes für die Kinder berechnet und anschließend der Color-Cube für die Eltern.

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Aufbau eines Octree und Verteilung der Dreiecke

- Starte mit der Wurzelzelle des Octree, die enthält die gesamte Geometrie.
- Verteile rekursiv die Dreiecke auf die Kinderzellen, bis die Anzahl der Dreiecke pro Zelle genügend klein ist.

Wann ist die Anzahl der Dreiecke pro Zelle „klein genug“?

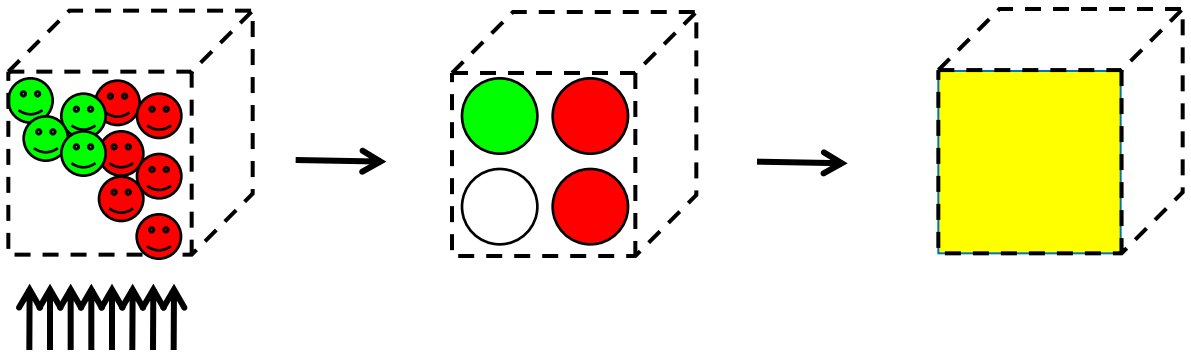
- Sobald das Rendering der Dreiecke weniger Zeit kosten würde, als das Rendering der Color-Cubes der Kinder.
- Renderingzeit experimentell bestimmen oder Anzahl der Dreiecke als Abschätzung verwenden.

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Berechnung der Color-Cubes für die Blätter des Octree

Für alle 6 Seiten der Octree-Zelle:

1. berechne ein Bild von dem Zelleninhalt in orthographischer Projektion (Auflösung 4x4 Pixel oder größer)
2. berechne den Durchschnitt der Farbwerte aller gerasterten Pixel des Bildes
3. berechne einen „Unsichtbarkeitswert“: der gibt an wie viel Prozent der Pixel der Seitenfläche mit Geometrie bedeckt ist
   im Beispiel unten mit 4 Pixeln: 75%, also Undurchsichtigkeitswert=0,75
4. speichere den Wert im Alpha-Wert des Farbwerts (RGBA, Transparenz)

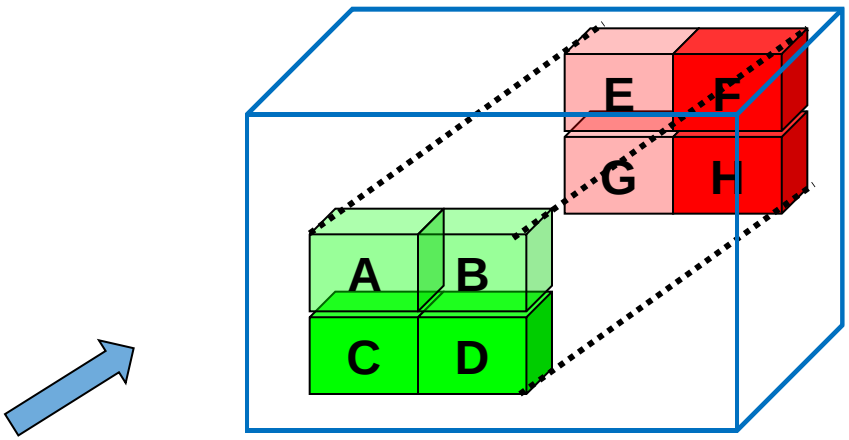


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Berechnung der Color-Cubes für interne Octree-Zellen

Für alle 6 Seiten der Octree-Zelle bzw. des Color-Cubes:

- Berechne die Farbwerte des Color-Cubes (Eltern) mit Hilfe der Color-Cubes der Kinder.
- Schaue dazu auf jede Seite der Octree-Zelle und betrachte die entsprechenden Seiten der Color-Cubes der Kinder aus derselben Blickrichtung (8 Farbwerte).

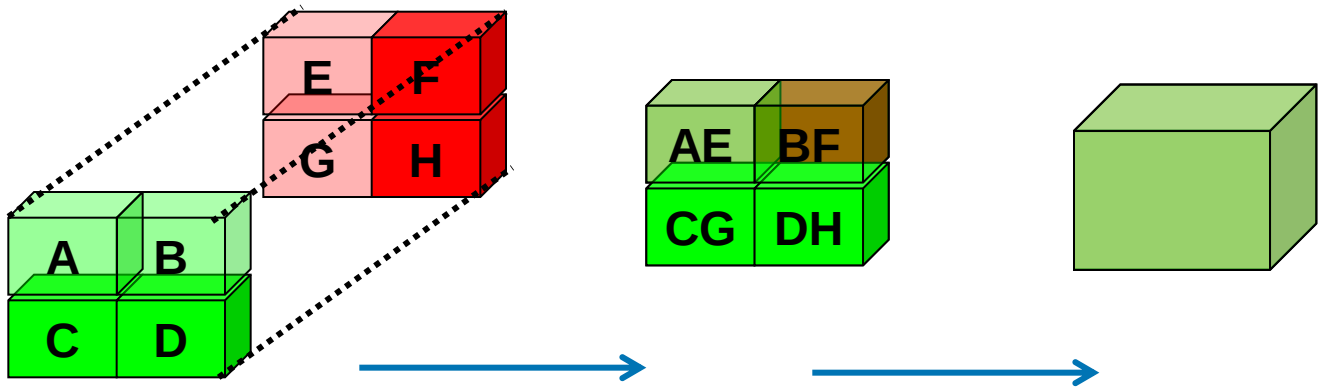


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Berechnung der Color-Cubes für interne Octree-Zellen

Für alle 6 Seiten der Octree-Zelle:

- Mittle jeweils paarweise den Farbwert der vorderen Seite des vorne liegenden Color-Cubes mit dem Farbwert der Seite des dahinterliegenden Color-Cubes.
- Berücksichtige dabei den Transparenzwert α :
  $c = c_{fg} * \alpha + (1 - \alpha) * c_{bg}$ bzw. composite „over“ nach [*Porter,Duff 1984*]
- Berechne aus den 4 Farbwerten den Farbmittelwert für die Seite des zu berechnenden Color-Cubes.



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Aufwandsabschätzung

Wir zeigen, dass unser Rendering-Algorithmus mit einer Laufzeit von $O(\log(n))$ auskommt.

Dazu setzen wir zwei vereinfachende aber notwendige Modellannahmen voraus:

1. Die Tiefe d des Octree ist $d = O(\log(n))$, wobei n die Anzahl der Dreiecke ist.
2. Die maximale Anzahl geometrischer Primitive pro Blattzelle ist konstant.

Color-Cubes
Aufwandsabschätzung

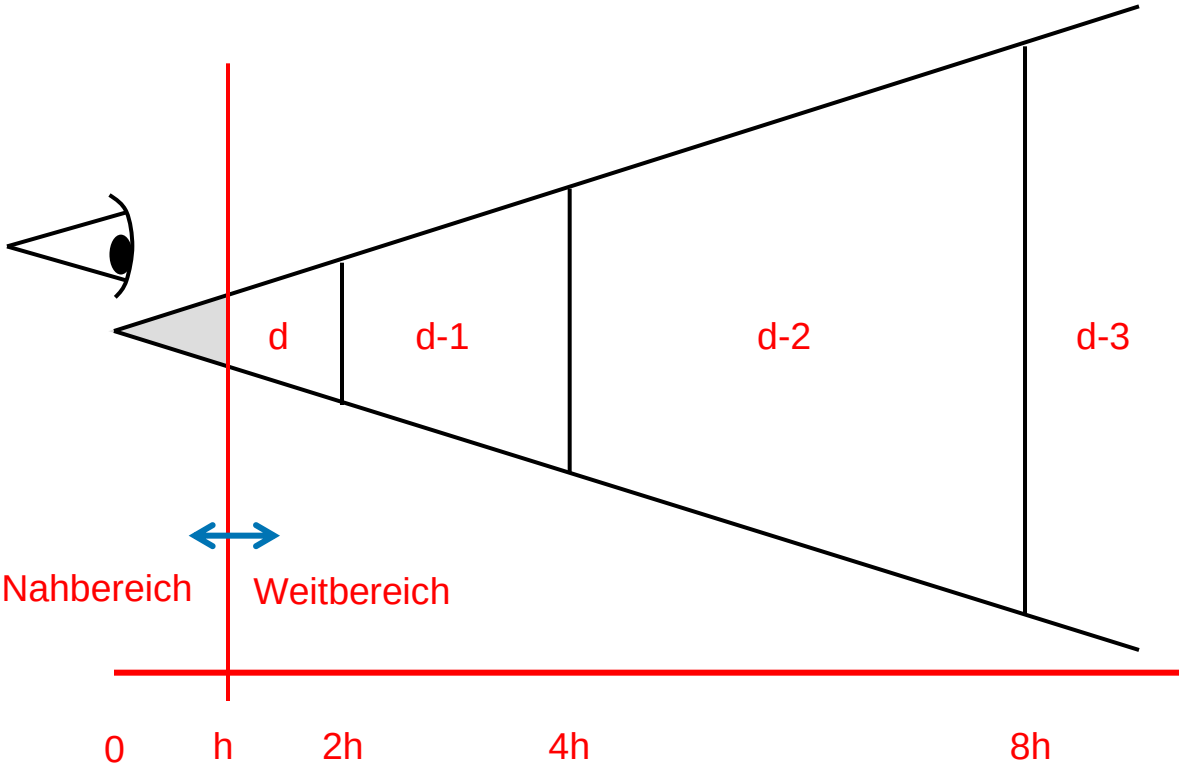
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wir teilen das Frustum auf in:

- **Nahbereich**: hier wird Geometrie gerendert
- **Weitbereich**: hier werden nur Color-Cubes gerendert

Subfrustum i:

- der Bereich, in dem nur Zellen des Color-Cubes von Octreeebene i gerendert werden
- deren projizierte Größe ist kleiner/gleich als ε (z.B. 1 Pixel, je nachdem wie ε gewählt wurde)



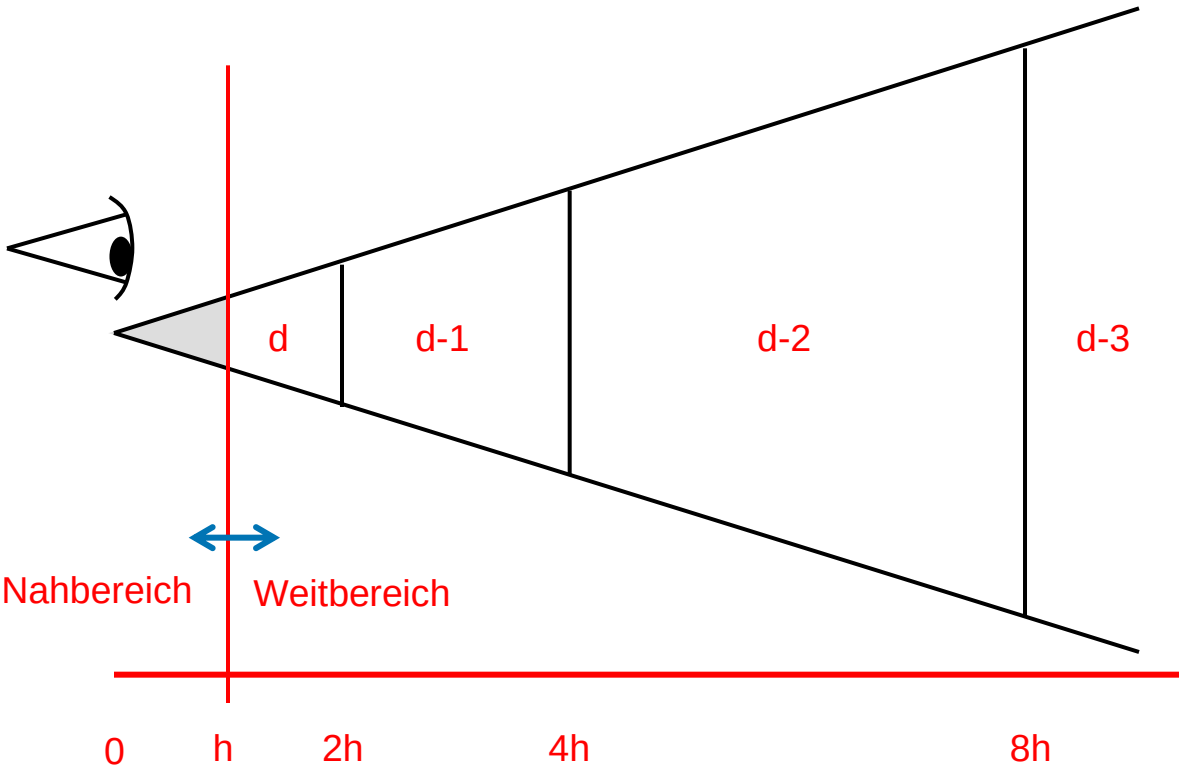
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Warum werden im Subfrustum i keine Color-Cubes von Octreeebene i-1 gerendert?

- Zu groß!
- Deren projizierte Größe ist größer als ε, Knoten wird weiter traversiert.

Warum werden im Subfrustum i keine Color-Cubes von Octreeebene i+1 gerendert?

- Zu klein!
- Am Elternknoten wurde der Color-Cube gerendert und die Traversierung abgebrochen.

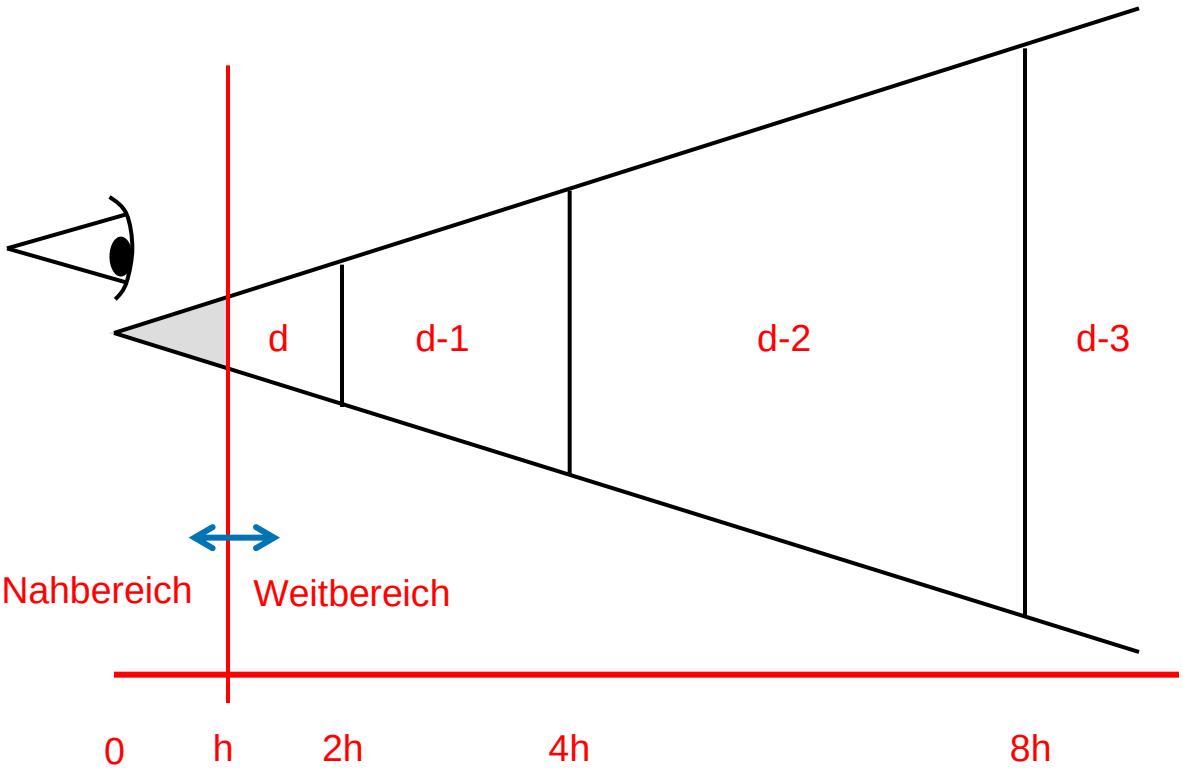


HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Dann gilt für den **Weitbereich**:

- Es gibt $d = \log(n)$ Subfrusta, eines für jeden Level des Octrees.
- Die Anzahl der Zellen eines Subfrustum ist konstant.
  [wird in der Übung behandelt !]
- Die Renderingzeit eines Color-Cubes benötigt konstante Zeit.

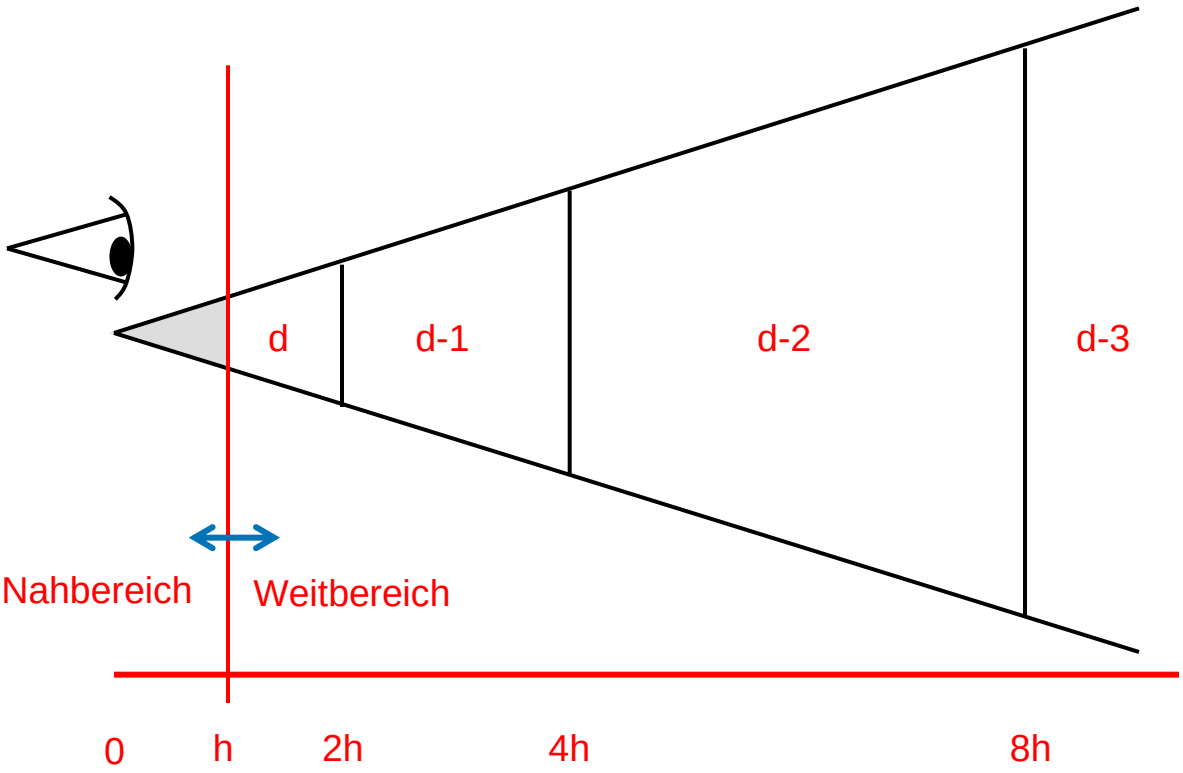
Damit gilt: die Renderingzeit aller Weitbereichszellen ist $O(\log(n))$



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Dann gilt für den **Nahbereich:**

- Auch die Anzahl der Blattzellen im Nahbereich ist konstant.
  [wird in der Übung behandelt !]
- Nach Annahme sind auch die Anzahl der Dreiecke in jeder Blattzelle konstant, d.h. wir haben $O(1)$ Renderingzeit für den Nahbereich.



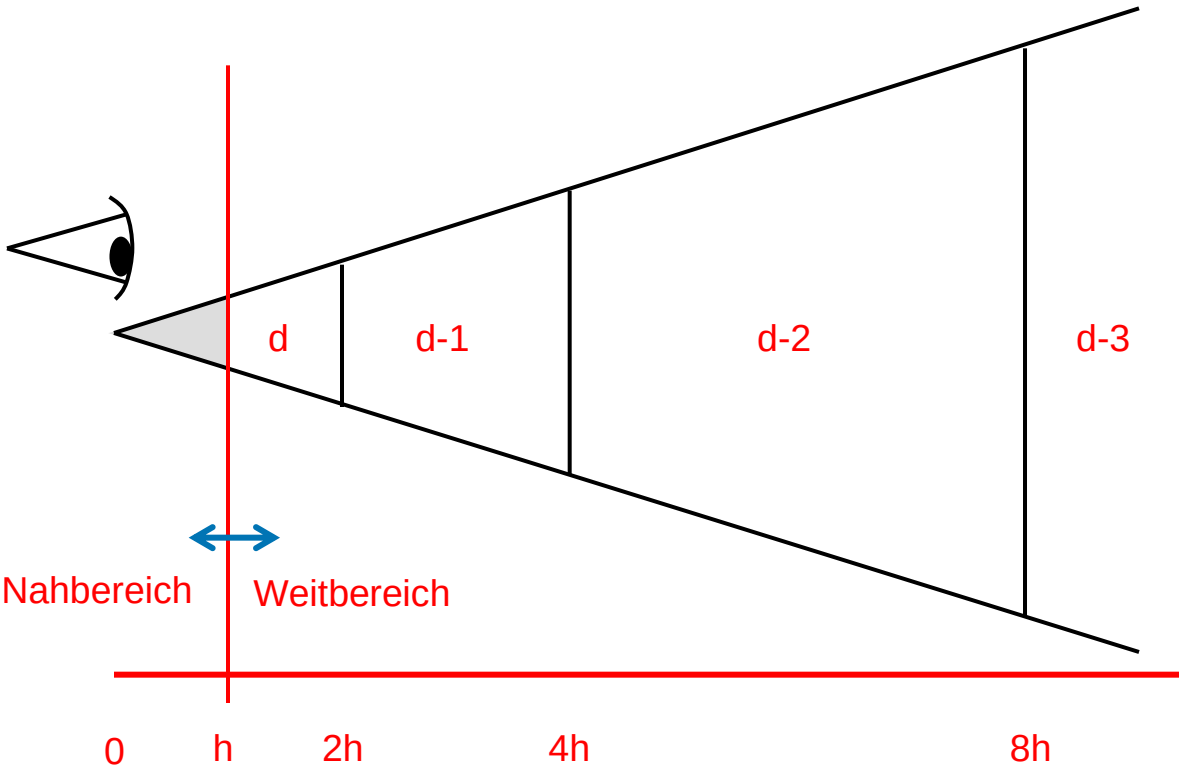
Color-Cubes
Aufwandsabschätzung

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Wir müssen die Anzahl **Frustum-Tests** abschätzen,
die wir zum Testen der Octree-Zellen mit dem Frustum benötigen.

- Benötigt Zeit $O(\log(n))$
  [wird in der Übung behandelt !]

- Insgesamt ergibt sich damit $O(\log(n))$ Renderingzeit
  inkl. der Color-Cubes des Weit-/Nahbereichs.



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Approximierte Bilddarstellung

Fragen

- Wie gut ist die Qualität?
- Wie groß sind die Abweichungen zum Original?
- Welche Artefakte gibt es?
- Ist die Bildqualität für alle Positionen gleich gut?
- Ist die Bildqualität für unterschiedliche Szenentypen gleich gut?
- Wie bewerten wir die Bildqualität?

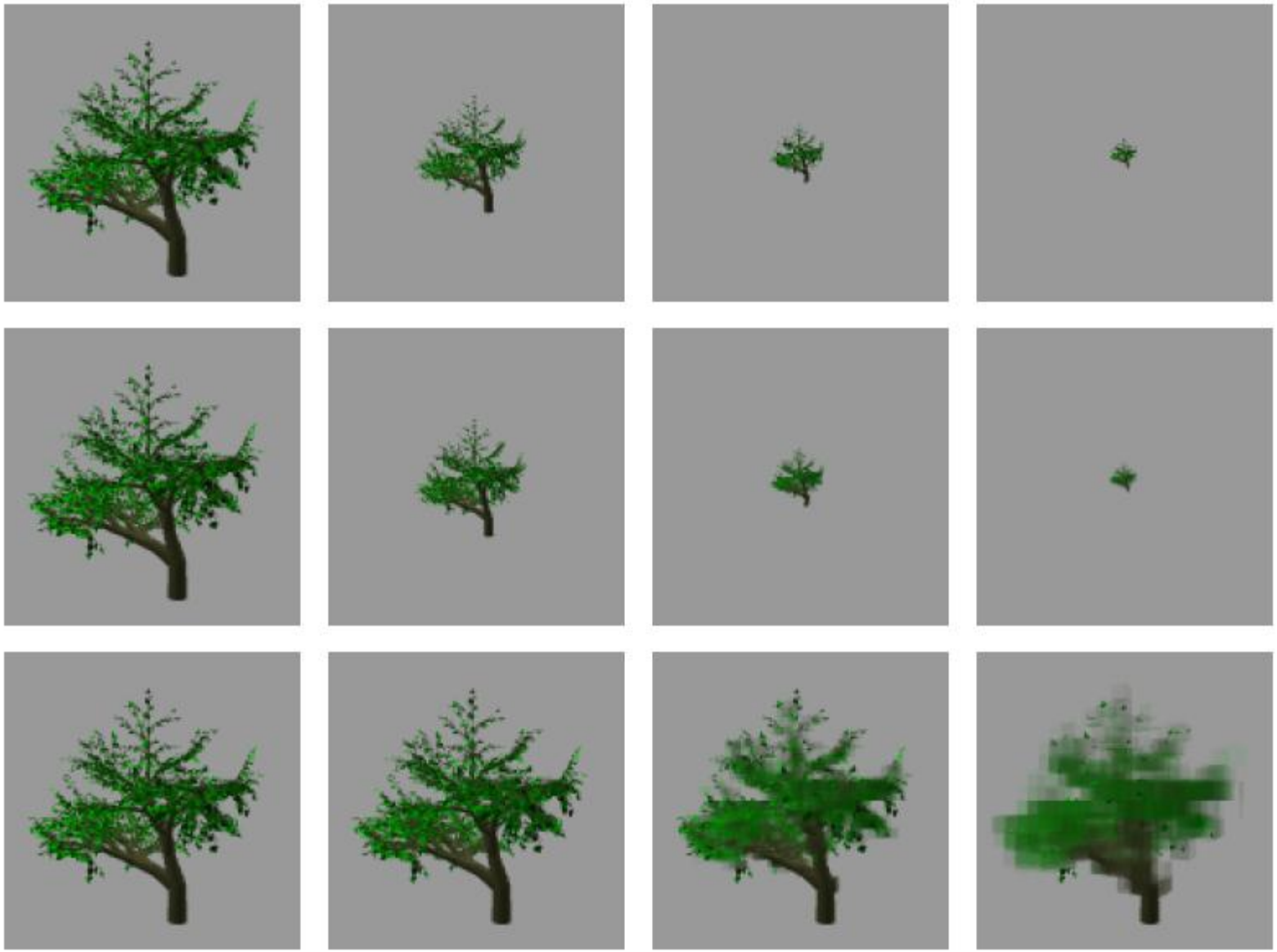
Color-Cubes
Bildqualität

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

1.Reihe
originale Geometrie

2. Reihe
mit Color-Cubes

3. Reihe
Vergrößerung



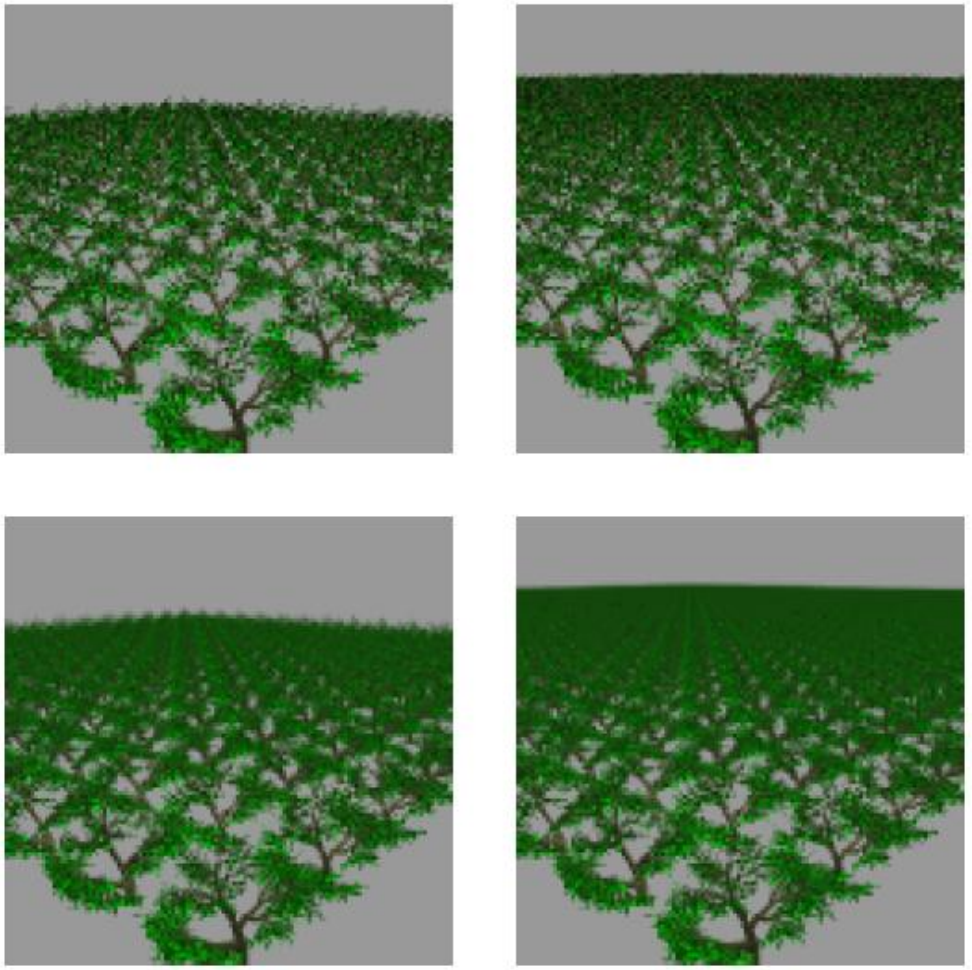
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Antialiasing-Effekt

- Die Bilder mit Color-Cubes erscheinen „glatter“ bei sehr feiner Geometrie.
- Ohne Color-Cubes treten stärkere Aliasing-Effekte auf.

Warum?

Der Algorithmus führt eine Art Filterung der Geometrie auf verschiedenen Stufen durch.



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Charakterisierung

„Gute Szenen“
- Primitive klein im Vergleich zum Color-Cube
- zufällig verstreut (unkorreliert)

„Schlechte Szenen“
- große Primitive im Vergleich zum Color-Cube
- lange und zusammenhängende Oberflächen (Warum sind die ein Problem?)

Es können Artefakte auftreten!

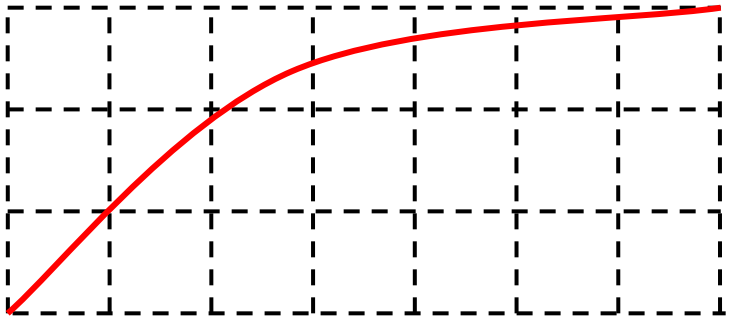
Warum?

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Artefakte

Beispiel

- eine lang gestreckte Oberfläche (rot)
  (zusammengesetzt aus mehreren Dreiecke)
- durchläuft mehrere benachbarte Zellen
- außer der Oberfläche sind keine Dreiecke in den Zellen

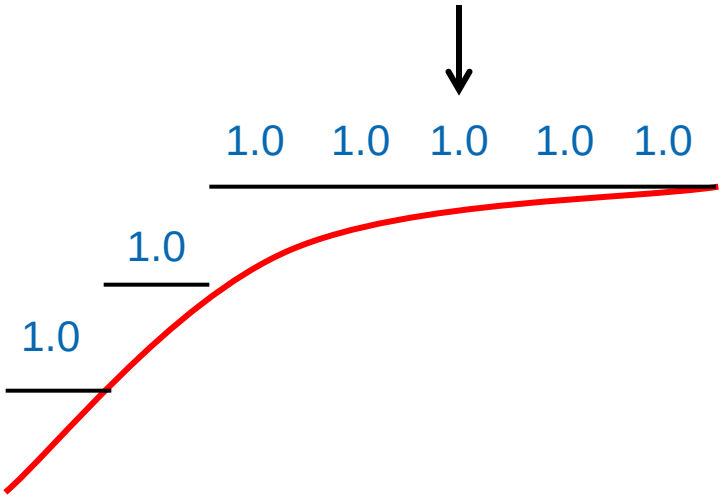


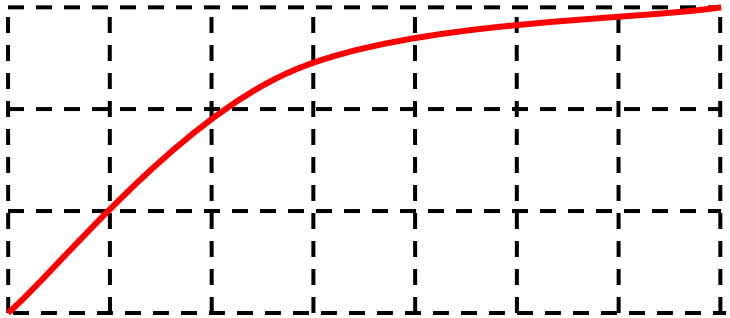
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Artefakte

Sicht von „oben“

- Jede Zelle ist vollständig undurchsichtig (Undurchsichtigkeit 1.0)



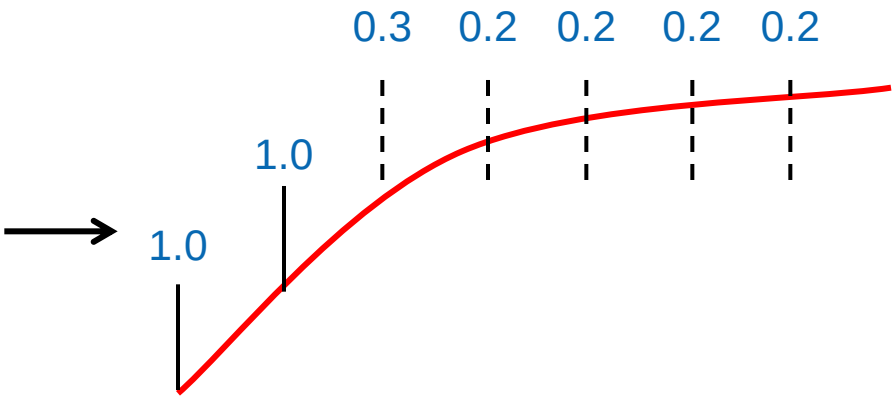


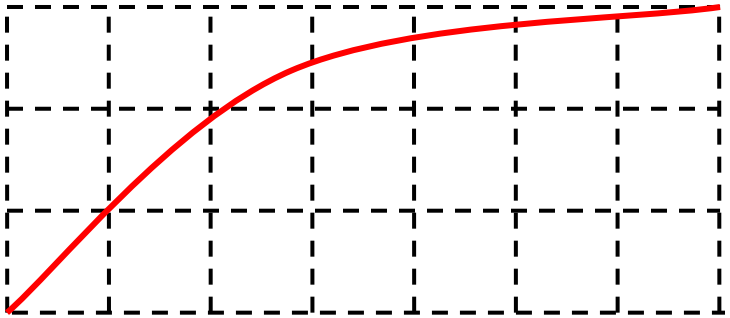
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Artefakte

Sicht von „links“

- Nur Zellen mit flachem Neigungswinkel sind vollständig undurchsichtig. (Undurchsichtigkeit 1.0)
- Zellen mit steilem Neigungswinkel sind nur partiell verdeckt. (Undurchsichtigkeit (0.3, 0.2)





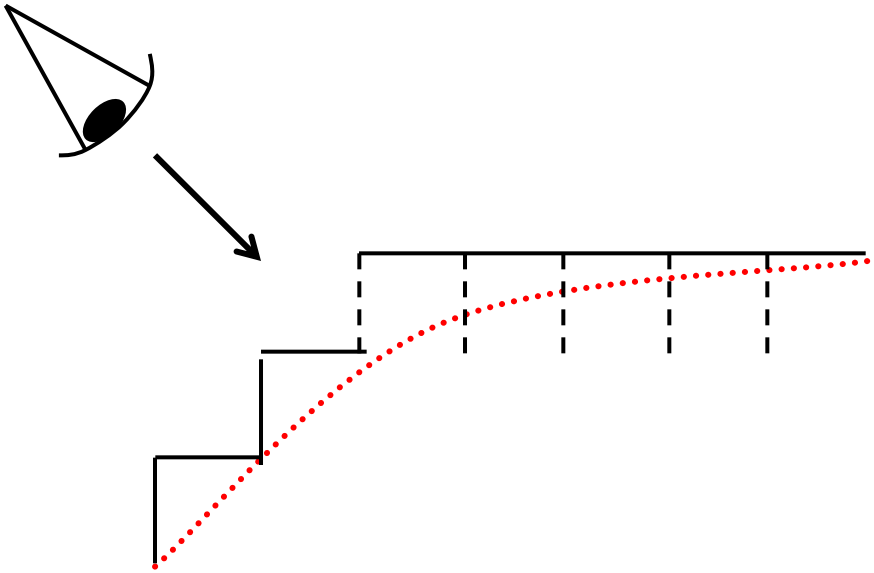
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

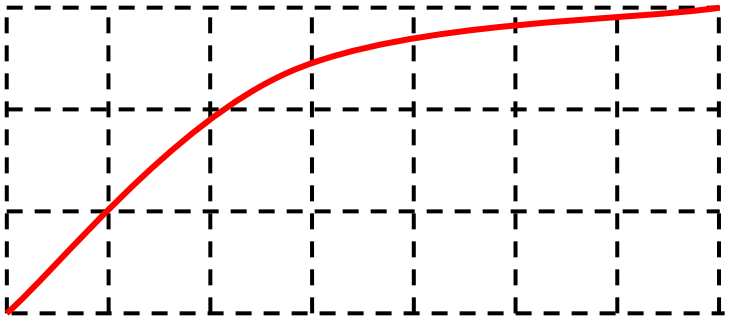
Artefakte

Sicht von „schräg“ (45 Grad)

Problem

- zwei Seiten des Color-Cubes sind zu sehen (eine undurchsichtig, eine mit Transparenz)
- die transparenten überlagern sich nicht vollständig
- man sieht durch, es entstehen Löcher!



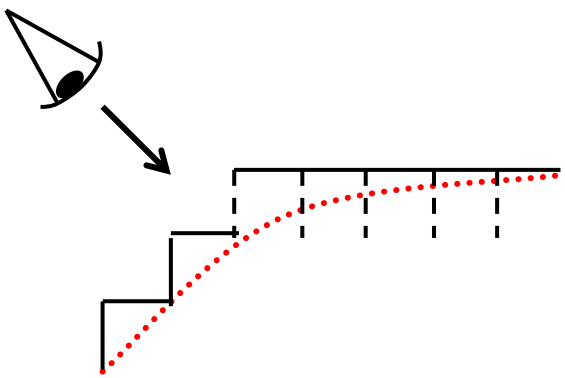


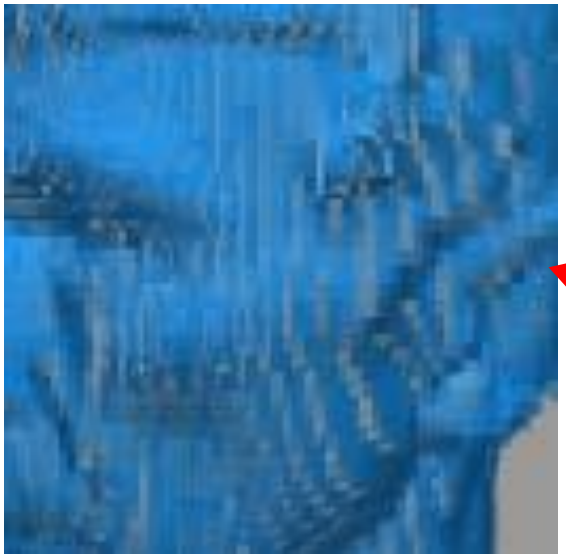
HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

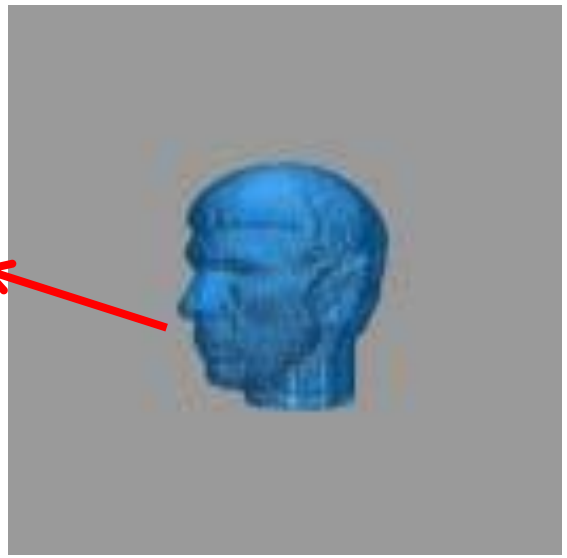
Artefakte

Auswirkung

- die undurchsichtigen Teile erschein blau
- die transparenten Teile der Zelle überlagern sich nicht genug und erscheinen im schwachen blau



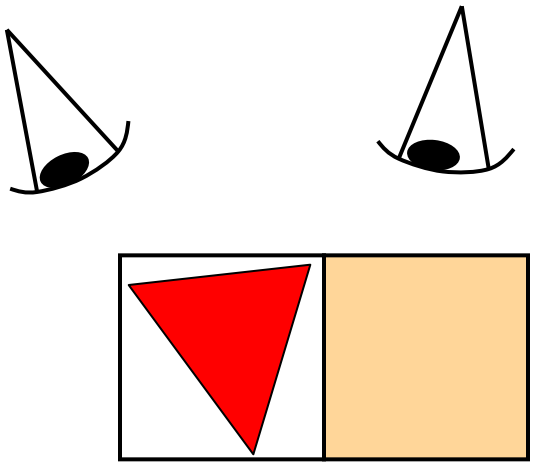




HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Weitere Artefakte

- Was passiert, wenn undurchsichtige Geometrie und transparente Color-Cubes nebeneinander gezeichnet werden?
- Reihenfolge ist entscheidend!
  Undurchsichtige Geometrie verdeckt transparente Pixel.



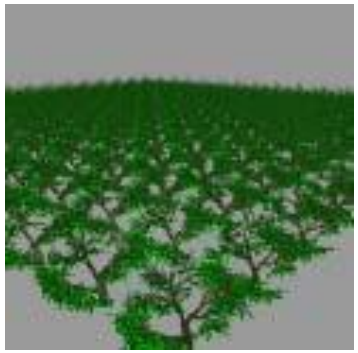
Problem

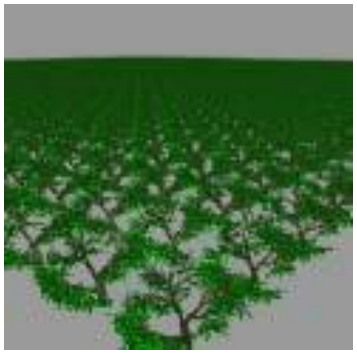
- Reihenfolge kann sich durch kleine Positionswechsel ändern.
- Entweder verdeckt die Geometrie den Color-Cube vollständig,
- oder der Color-Cube überlagert die Geometrie.

HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Experimentelle Ergebnisse

- Mehrere Instanzen eines Baums (52.470 Polygone)
- Bäume sind im Quadrat auf der Form eines Schachbretts angeordnet
- In jedem Schritt Vervierfachung der Bäume





HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Algorithmen und Komplexität
Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide

Experimentelle Ergebnisse

- Ab 1 Mil. Polyone schneller als konventioneller Z-Buffer-Algo. (SGI, R4400, 150MHz, 256MB)
- Skalierung bis 859 Mil. Polygone

Diese Szene entspricht von Aufbau und Struktur weitgehend der Modellannahme für die Analyse !!

- viel kleine gleichmäßig verteilte Polygone
- gut „ausgewogener“ Octree !