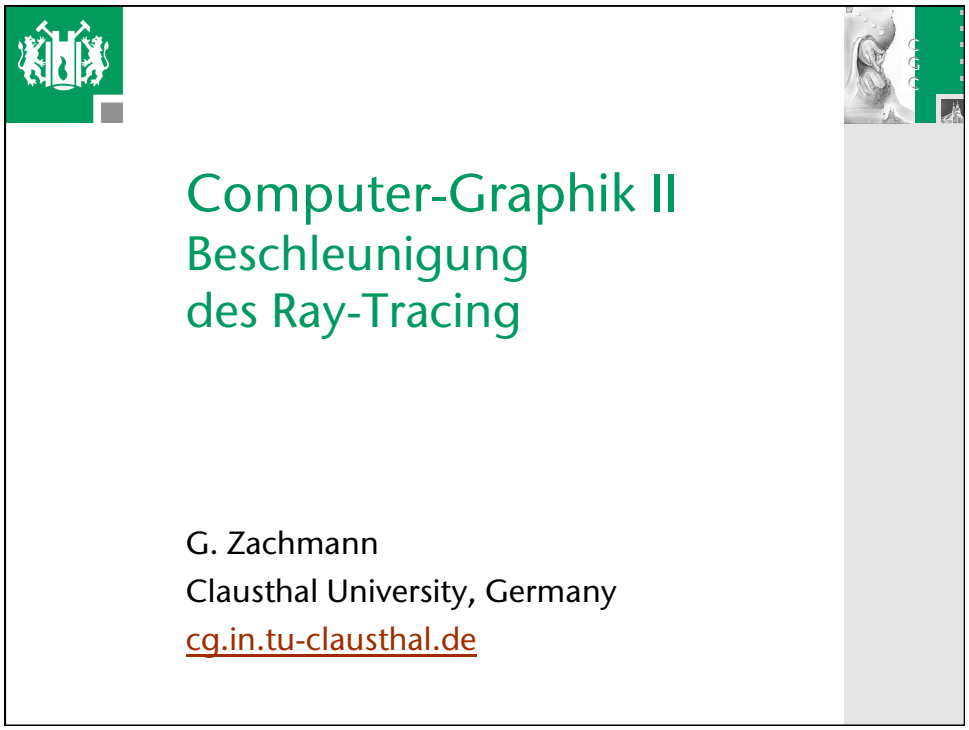
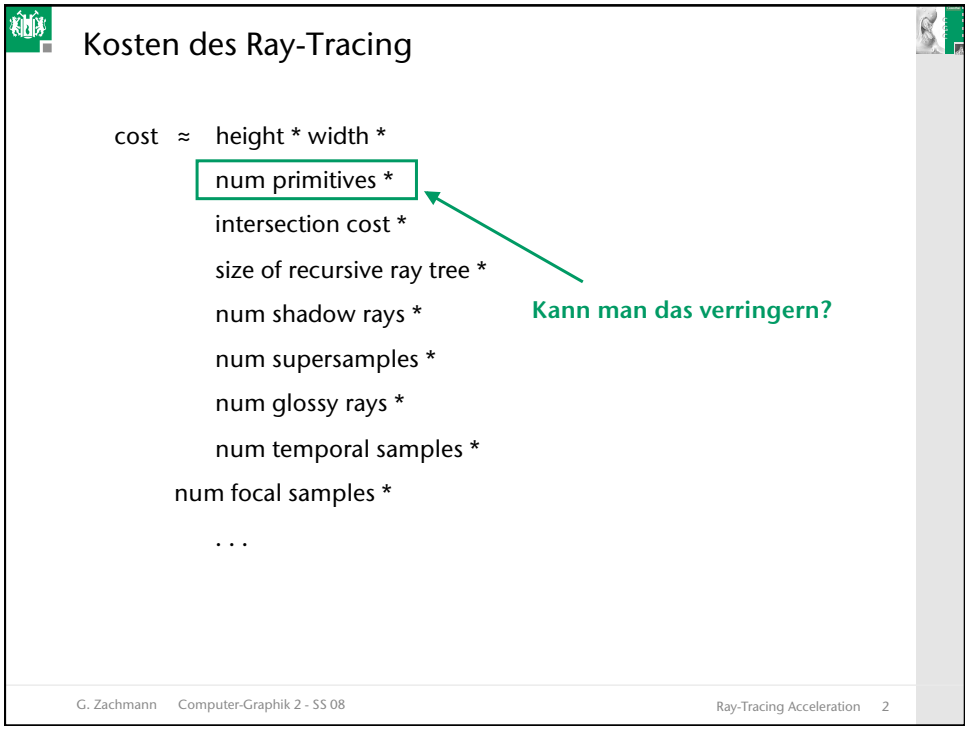


Computer-Graphik II
Beschleunigung des Ray-Tracing

G. Zachmann
Clausthal University, Germany
cg.in.tu-clausthal.de

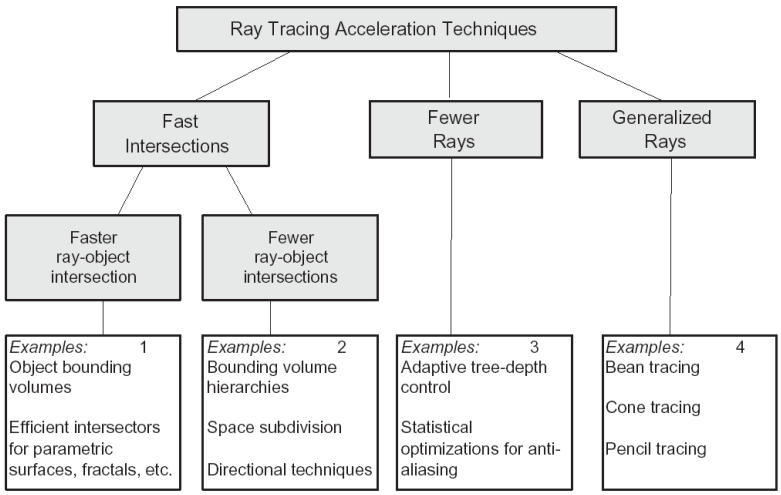


Kosten des Ray-Tracing

cost ≈ height * width *
num primitives *
intersection cost *
size of recursive ray tree *
num shadow rays *
num supersamples *
num glossy rays *
num temporal samples *
num focal samples *
. . .

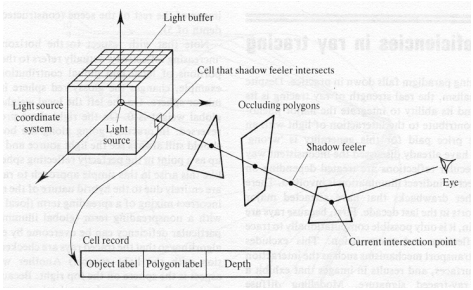
Kann man das verringern?

Beschleunigungstechniken



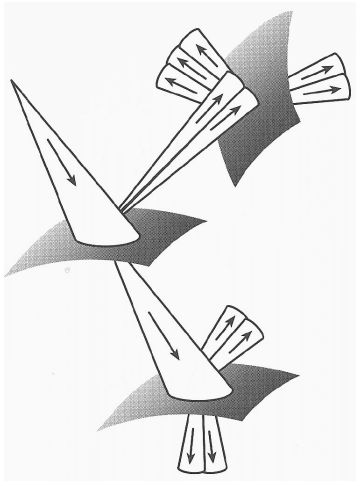
Der *Light Buffer*

- Beobachtung: bei der Verfolgung von Schattenstrahlen reicht es, irgendeinen Schnittpunkt mit einem opaken Objekt zu finden
- Idee: speichere bei jeder Lichtquelle und für jede Raumrichtung eine Liste von Polygonen, die in dieser Richtung liegen
  - Datenstruktur des Light Buffer: "Richtungswürfel"
  - Entweder als Preprocessing (scan conversion auf die Würfelseiten), oder "on demand" (eintragen in Zelle falls Occluder gefunden)

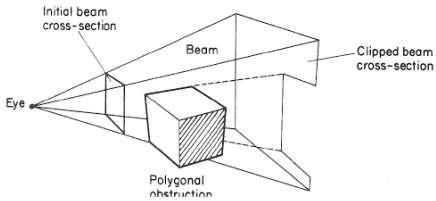


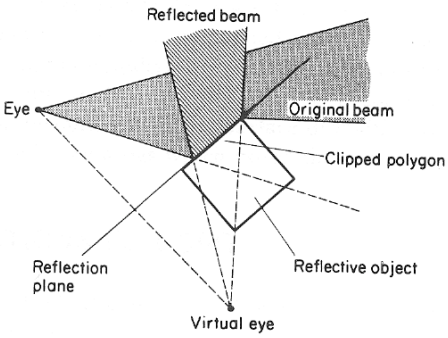
Beam und Cone Tracing

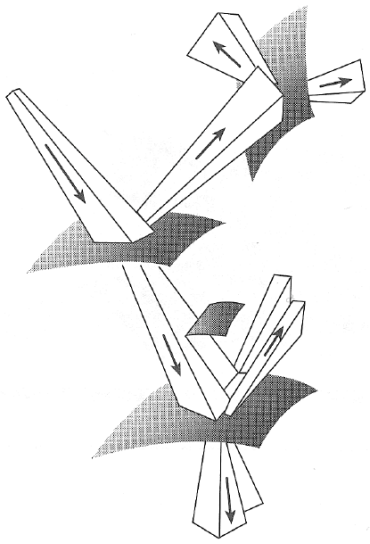
- Allgemeine Idee: versuche Beschleunigung durch Verschießen mehrerer oder "dickerer" Strahlen auf einmal
- Beam Tracing:
  - Ein Strahlbündel mit Pyramide genau darstellen
  - Neue Beams an den Oberflächen (Polygone) erzeugen
- Cone Tracing:
  - Ungefähre Approximation eines Strahlbündels mit Kegeln
  - Wenn notwendig, in kleinere Kegel unterteilen
- Probleme:
  - Ausschnitt der Strahlen?
  - Gute Approximation?
  - Wie berechnet man Schnitte mit Flächen?
- Nicht wirklich praktikabel, viel zu teuer!



Beam Tracing

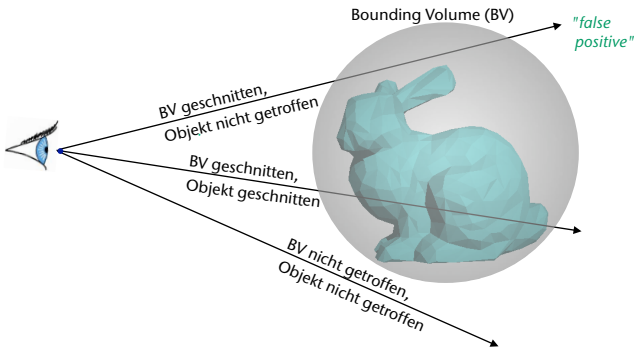






Bounding Volumes (BVs)

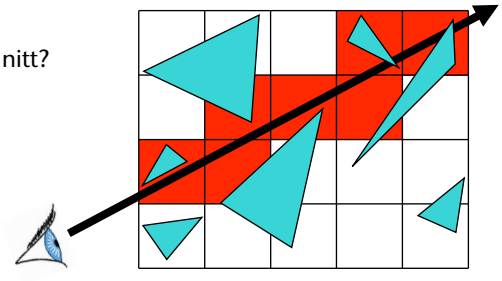
- Grundidee: spare Kosten durch Vorberechnungen mit der Szene und Filterung der Strahlen zur Laufzeit



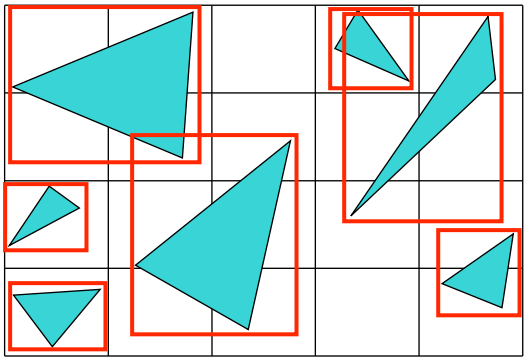
- Verfehlt der Strahl das Bounding Volume, so kann man auf den Schnitt mit der Teilszene verzichten

Regelmäßiges Gitter

- Erstellung des Gitters:
  - Bestimme BBox der Szene
  - Bestimme gute Gitter- Auflösung (n_x, n_y, n_z)
- Für jede Zelle entlang eines Strahls:
  - Enthält die Zelle einen Schnitt?
  - Ja: liefere Schnitt zurück
  - Nein: fortfahren



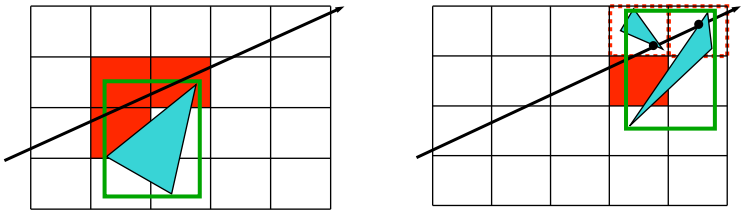
- Primitive in Gitter einfügen:
  - Benutze Objekt-BBox
  - I.a. mehrfache Einfügung in versch. Zellen
- Jede Zelle enthält Liste mit Zeigern auf Objekte



Die Mailbox-Technik

- Nach der Unterteilung des 3D-Raums können die Objekte in mehreren Voxeln liegen und müssen dann in jedem von diesen Voxeln referenziert werden

1. Problem: Schnitt muß nicht der näheste sein (r.u.)
   - Lösung: wenn Schnittparameter *t* nicht im Innen der Zellestrecke ist, dann weitermachen (es kann etwas näheres geben)
2. Problem: wie vermeidet man, dass der Strahl 3x gegen das Obj getestet wird? (l.u.)



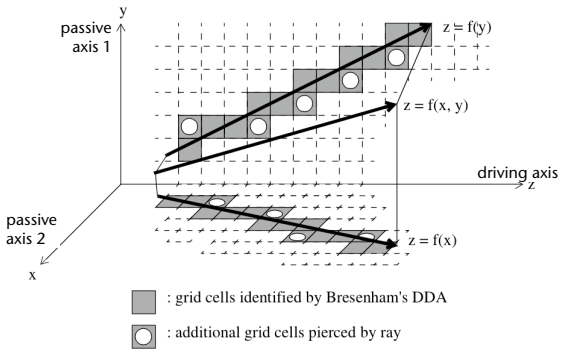
- Lösung: jedem Objekt in der Szene wird eine Mailbox und jedem Strahl eine eindeutige Strahl-ID zugeordnet
  - Einfach im Konstruktor der Strahl-Klasse einen Zähler hochzählen
- Nach jedem Schnittpunkttest wird die Strahl-ID in die Mailbox des Objekts gespeichert
- Vor jedem neuen Schnittpunkttest wird die Strahl-ID des aktuellen Strahls mit der Strahl-ID in der Mailbox des Objektes verglichen:
  - die IDs sind gleich → das Ergebnis des Schnittpunkttests kann ohne weitere Berechnungen aus der Mailbox ausgelesen werden;
  - sonst → führe neue Schnittpunktberechnung durch und speichere das Ergebnis in der Mailbox (mit Strahl-ID)

Optimierungen der Mailbox-Technik

- Probleme der naiven Methode:
  - Schreiben der Mailbox im Dreieck zerstört Cache
  - Man kann nicht mehrere Strahlen parallel testen
- Lösung: speichere Mailbox getrennt von den Dreiecksdaten
  - Kleine Hash-Table zu jedem Strahl, die die Dreiecks-IDs enthält
    - Nur wenige Dreiecke werden von jedem Strahl berührt
    - Hashtable kann hauptsächlich im Level-1-Cache bleiben
  - Einfache Hashing-Funktion reicht
  - Paralleles Testen mehrere Strahlen auf versch Prozessoren trivial
- Dahinter steckt das alte Problem: soll man *"Array of Structs"* (AoS) oder "*Struct of Arrays*" (SoA) implementieren?

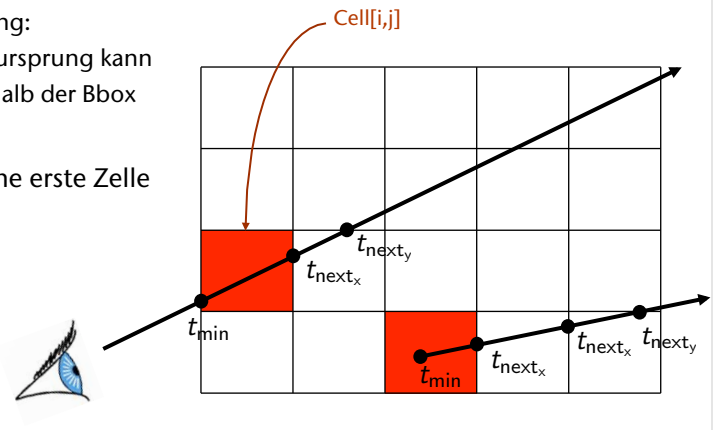
Traversierung eines 3D-Gitters

- Einfache Idee: verwende 2 synchronisierte DDA's → 3D-DDA
  - Wie im 2D gibt es eine "driving axis"
  - Im 3D gibt es aber zwei "passive axes"

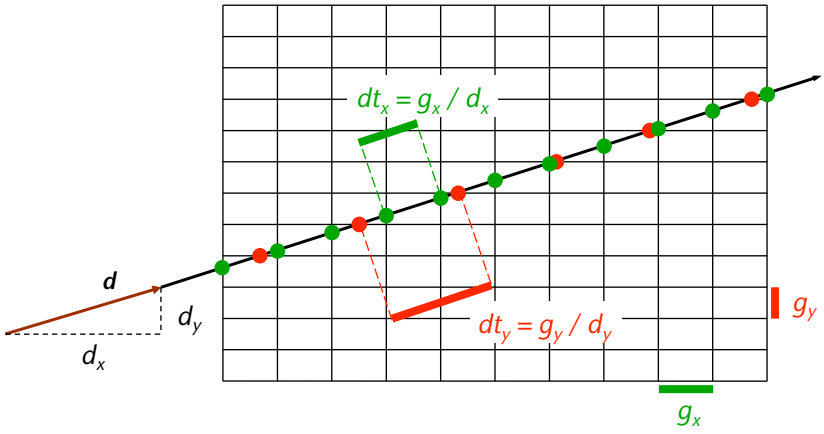


Besserer Gitter-Traversierungs-Algo

- Schneide Strahl mit Bbox der Szene
  - Achtung: Strahlursprung kann innerhalb der Bbox sein!
- Bestimme erste Zelle

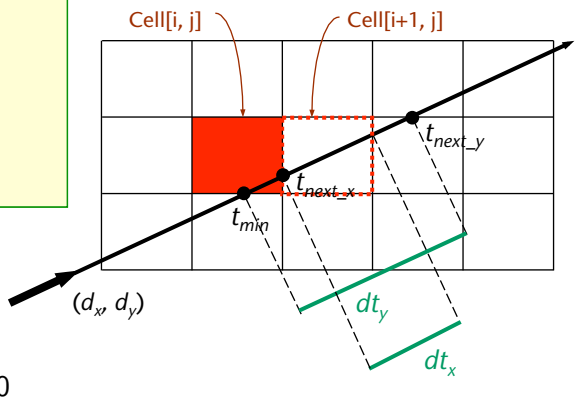


- Gibt es ein Muster für die Zellenübergänge?
- Ja, horizontale und vertikale Übergänge haben regelmäßigen Abstand



Der Algorithmus

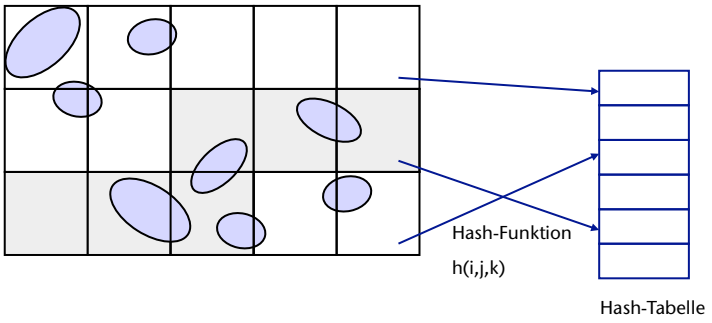
```
if t_next_x < t_next_y :
  i += s_x
  t_min = t_next_x
  t_next_x += dt_x
else:
  j += s_y
  t_min = t_next_y
  t_next_y += dt_y
```



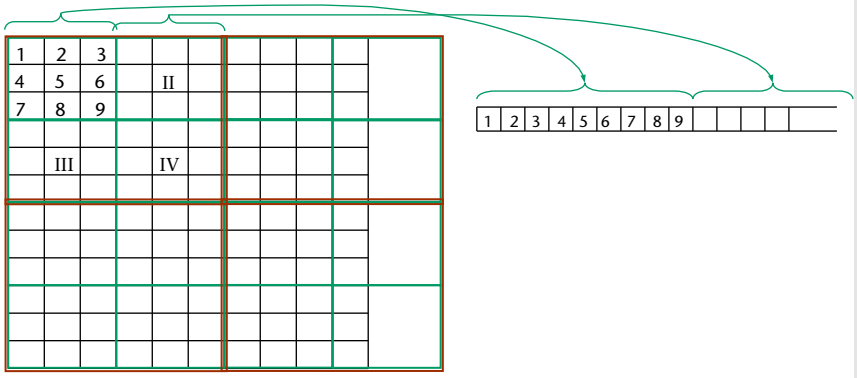
$$s_x = \begin{cases} 1 & , d_x > 0 \\ -1 & , d_x \leq 0 \end{cases}$$

Speicherung

- Viele leere Zellen → stelle Gitter durch eine Hashtabelle dar



- Dicht besetztes Gitter → verwende Blocking (aka "memory bricking")
  - Teile Gitter auf in Blocks, speichere jeden Block in zusammenhängenden Speicherbereich, so daß 1 Block = 1 L1-Cache-Zeile
  - Fasse Blocks zu "Macro-Blocks" zusammen, so daß 1 Macro-Block komplett in den L2-Cache passt

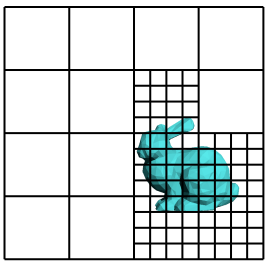


Optimale Zahl der Voxel

- Zu viele Zellen → langsame Traversierung, großer Speicherverbrauch, schlechte Cache-Ausnutzung
- Zu wenig Zellen→ zu viele Primitive in einer Zelle
- Gute Daumenregel: Seitenlänge der Zellen so groß wie die durchschnittliche Seitenlänge der Dreiecke (Objekte)
- Kennt man die nicht (oder ist zu teuer zu berechnen): wähle Seitenlänge = $\sqrt[3]{N}$
- Weitere Daumenregel: möglichst würfelförmige Voxel erzeugen

Rekursives Gitter [1989]

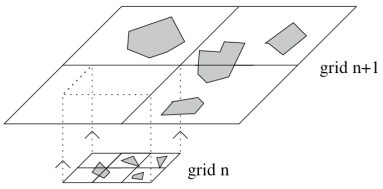
- Problem: reguläres Gitter passt sich nicht gut unterschiedlichen lokalen Dichten an ("teapot in a stadium")
- Idee:
  - Erzeuge zunächst nur grobes Gitter
  - Unterteile "dichte" Zellen wieder durch ein (grobes) Gitter
  - Abbruchkriterium: weniger als n Objekte in Zelle oder max. Tiefe erreicht
- Ergibt k^3-Wege-Baum
  - Evtl. Problem der effizienten Speicherung
- Zusätzliches Feature: Unterteilung "on demand"
  - Erzeuge zunächst nur 1-2 Levels
  - Falls Strahl zur Laufzeit Zelle trifft, die Abbruchkriterium nicht erfüllt, erzeuge dann weitere Levels



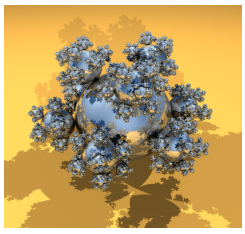
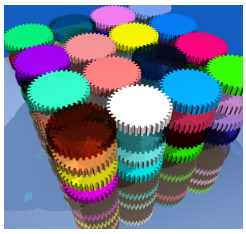
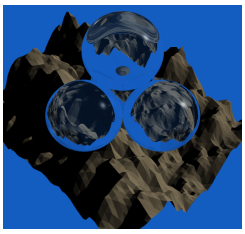
Nested Grids

Hierarchical Uniform Grid (HUG) [1994]

- Problem: Anpassung der Zellengröße an die Objektgröße, wenn viele unterschiedliche Größen dabei sind
- Idee:
  - Gruppiere Objekte nach Größe → Cluster
  - Gruppiere Objekte innerhalb jedes Clusters nach Entfernung → kleinere Cluster
  - Baue Gitter für jedes dieser Cluster
  - Konstruiere Hierarchie über diese elementaren Gitter
- Beispiel:



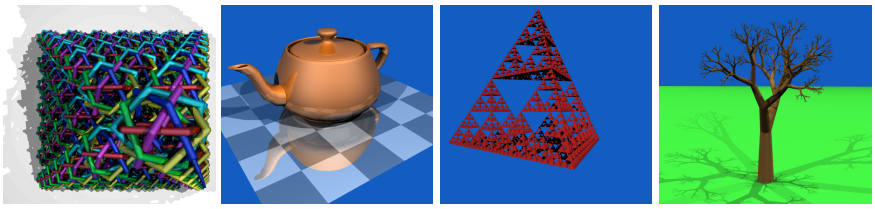
Vergleich einiger hierarchischer Gitter (Aufbau)

	balls	gears	mount
Uniform - D = 1.0	0.19	0.38	0.26
Uniform - D = 20.0	0.39	1.13	0.4
Rekursives Gitter	0.39	5.06	1.98
HUG	0.4	1.04	0.16

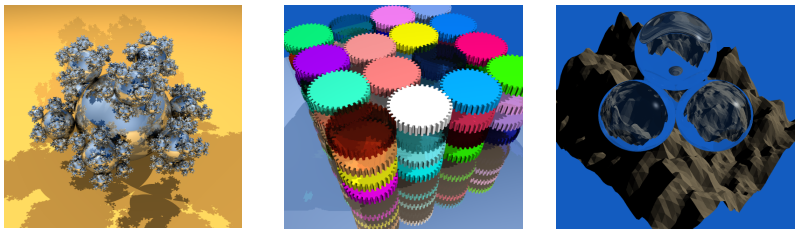
$$D = \frac{\text{Anzahl Voxel}}{\text{Anzahl Objekte}}$$

Quelle: Vlastimil Havran, Ray Tracing News vol. 12 no. 1, June 1999, http://www.acm.org/tog/resources/RTNews/html

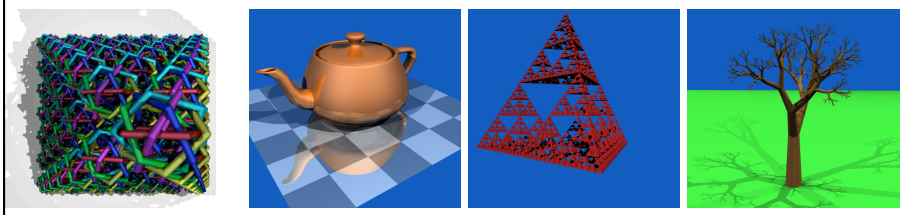


	rings	teapot	tetra	tree
Uniform - D = 1.0	0.35	0.3	0.13	0.22
Uniform - D = 20.0	0.98	0.65	0.34	0.33
Rekursives Gitter	0.39	1.55	0.47	0.28
HUG	0.45	0.53	0.24	0.48

Laufzeit



	Balls	Gears	Mount
Uniform - D = 1.0	244.7	201.0	28.99
Uniform - D = 20.0	38.52	**192.3**	**25.15**
Rekursives Gitter	36.73	214.9	30.28
HUG	**34.0**	242.1	62.31



	Ringe	Teekanne	Tetra	Baum
Uniform - D = 1.0	129.8	28.68	5.54	1517.0
Uniform - D = 20.0	**83.7**	**18.6**	**3.86**	781.3
Rekursiv	113.9	22.67	7.23	33.91
HUG	116.3	25.61	7.22	33.48
Adaptive	167.7	43.04	8.71	**18.38**