

Computer-Graphik II

Beschleunigung des Ray-Tracing

G. Zachmann

Clausthal University, Germany

cg.in.tu-clausthal.de



Kosten des Ray-Tracing

cost \approx height * width *

num primitives *

intersection cost *

size of recursive ray tree *

num shadow rays *

num supersamples *

num glossy rays *

num temporal samples *

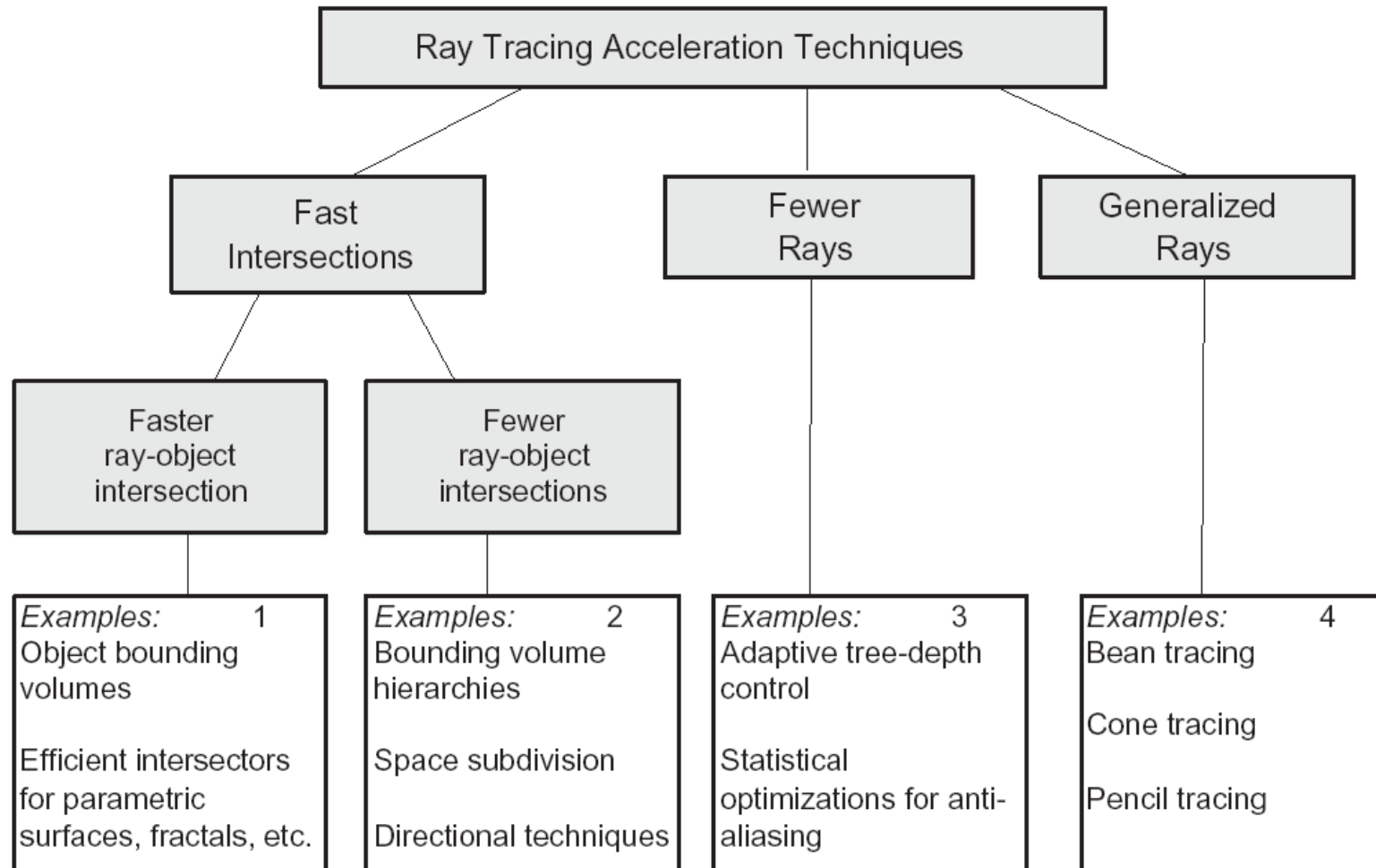
num focal samples *

...

Kann man das verringern?



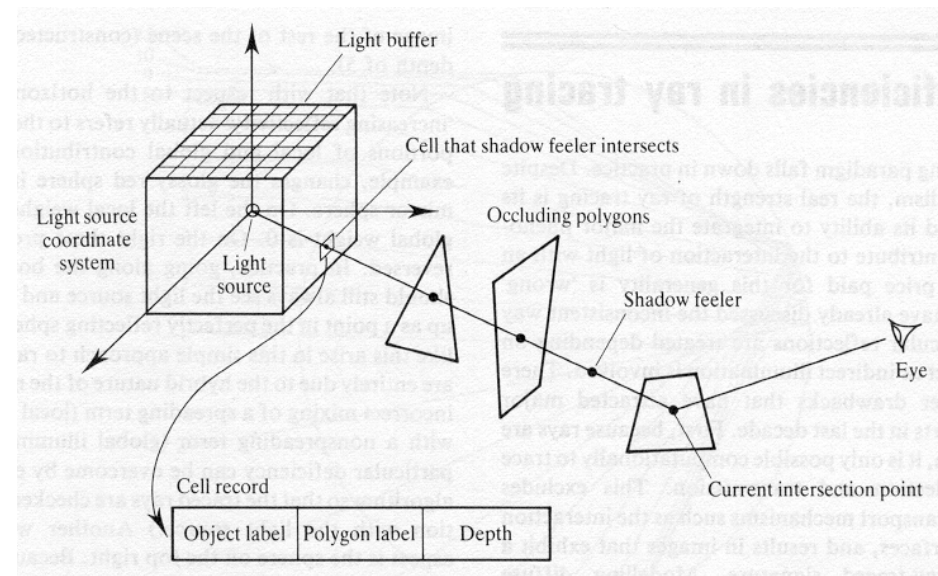
Beschleunigungstechniken





Der *Light Buffer*

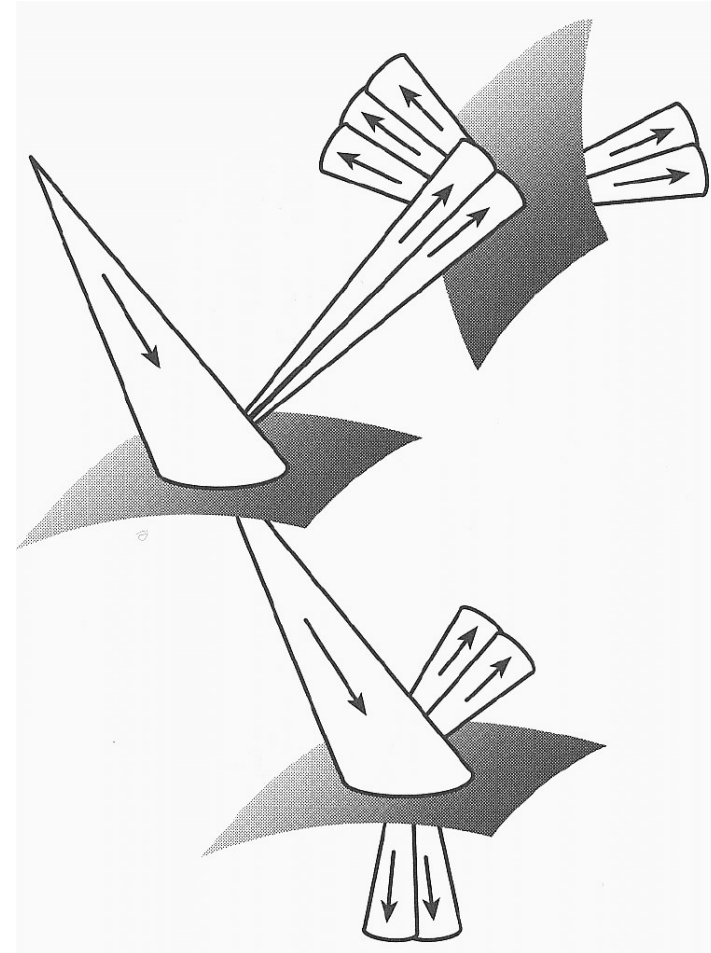
- Beobachtung: bei der Verfolgung von Schattenstrahlen reicht es, **irgendeinen** Schnittpunkt mit einem opaken Objekt zu finden
- Idee: speichere bei jeder Lichtquelle und für jede Raumrichtung eine Liste von Polygonen, die in dieser Richtung liegen
 - Datenstruktur des **Light Buffer**:
"Richtungswürfel"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





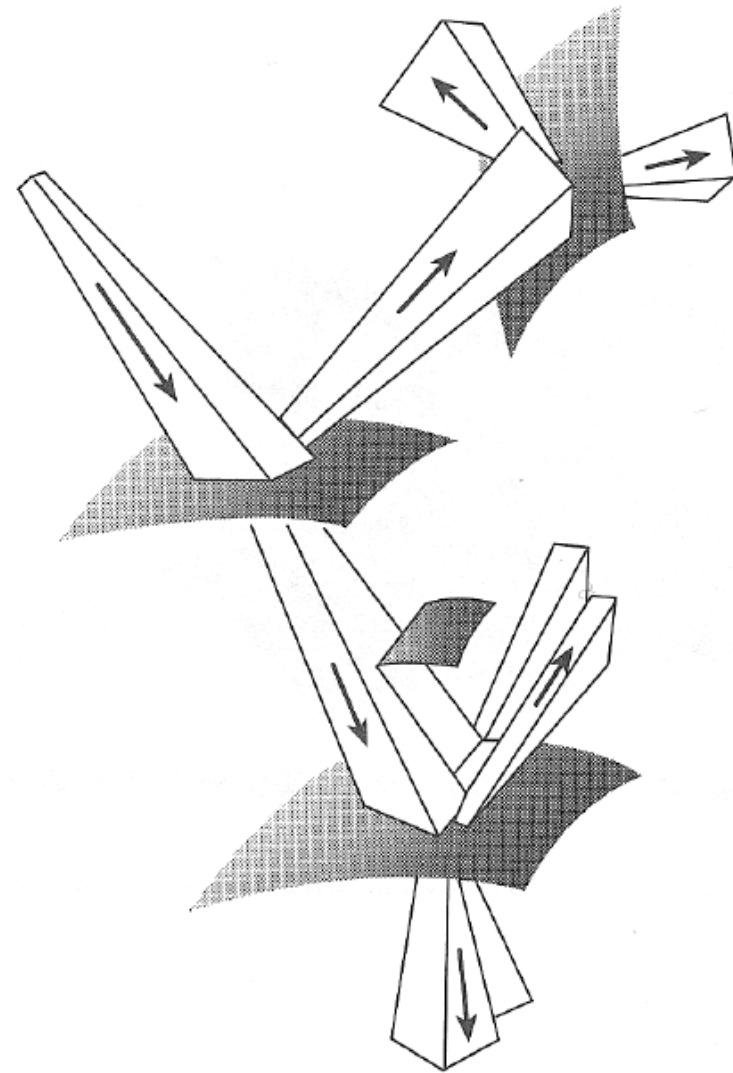
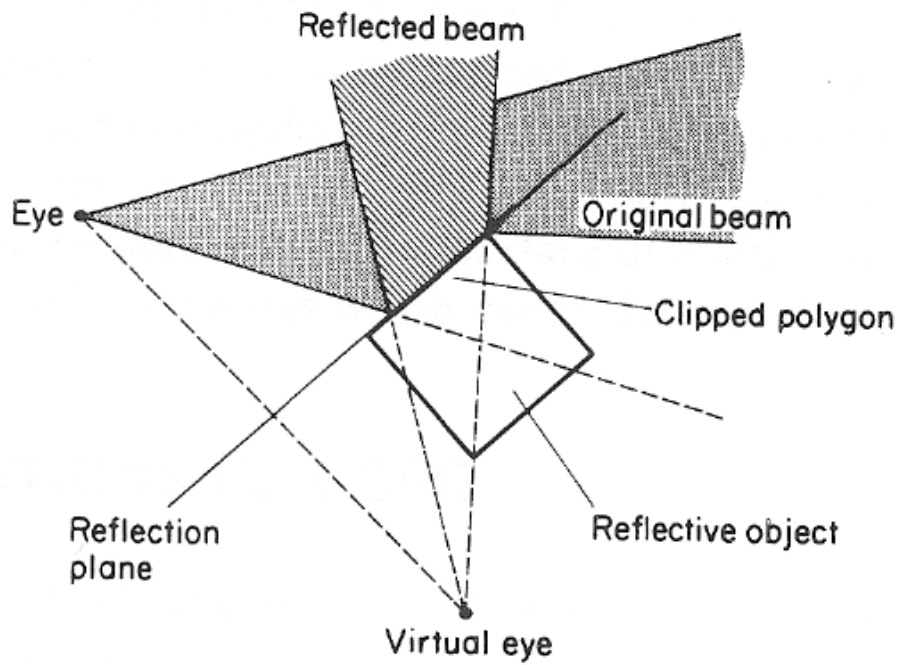
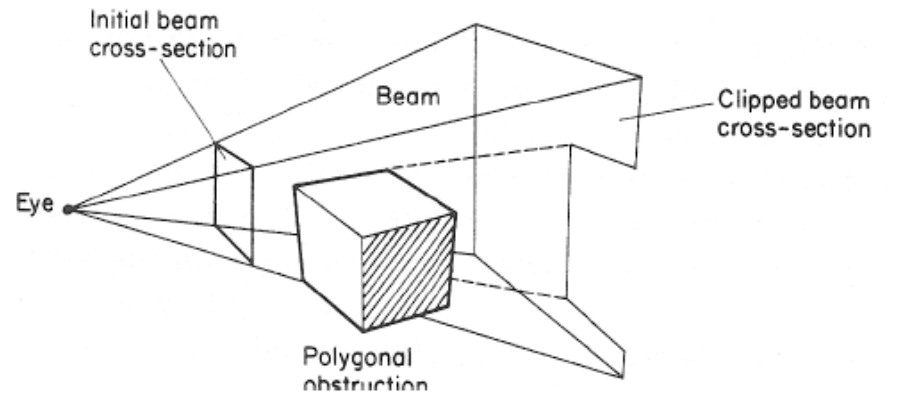
Beam und Cone Tracing

- 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

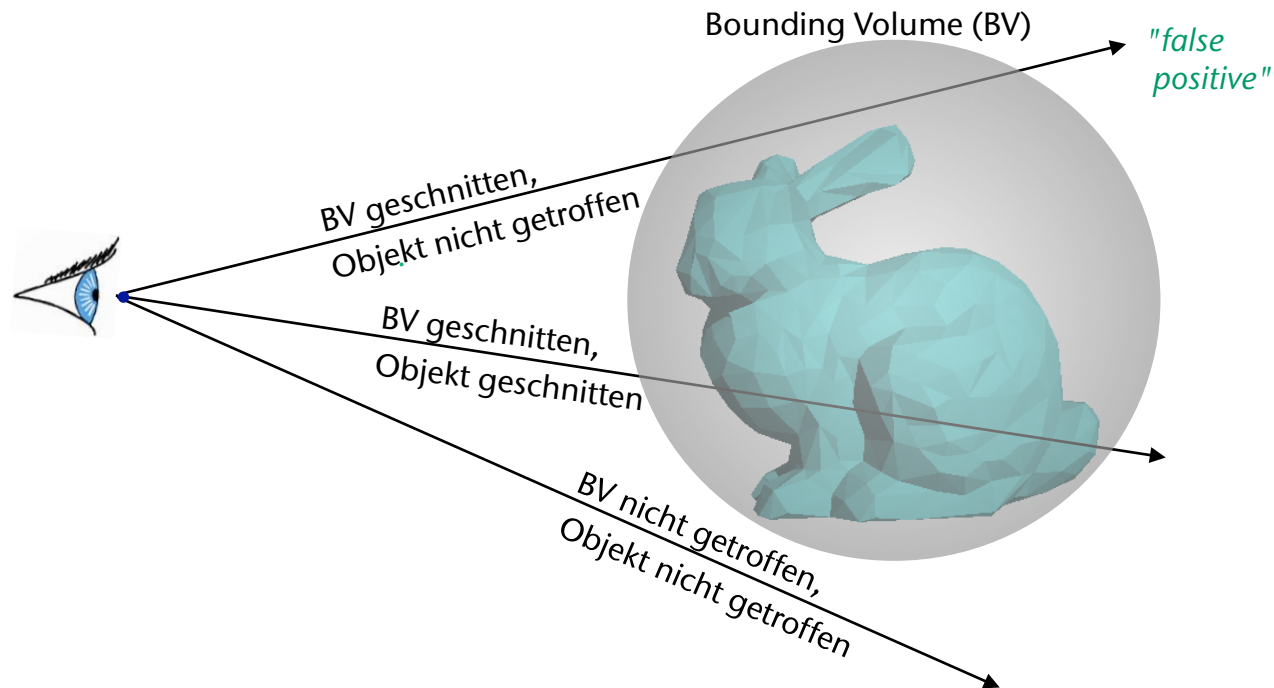




Bounding Volumes (BVs)



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



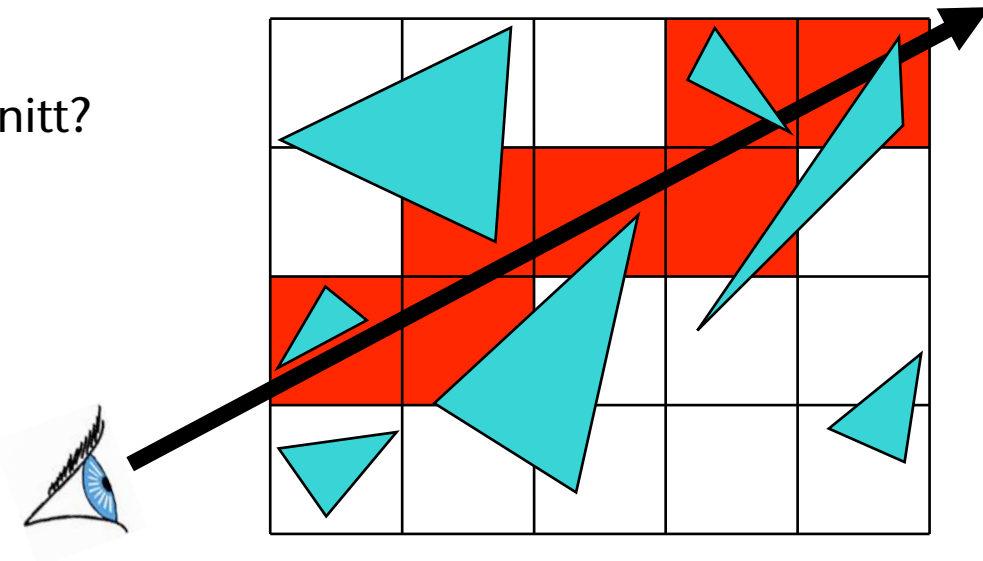
- Verfehlt der Strahl das Bounding Volume, so kann man auf den Schnitt mit der Teilszene verzichten



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

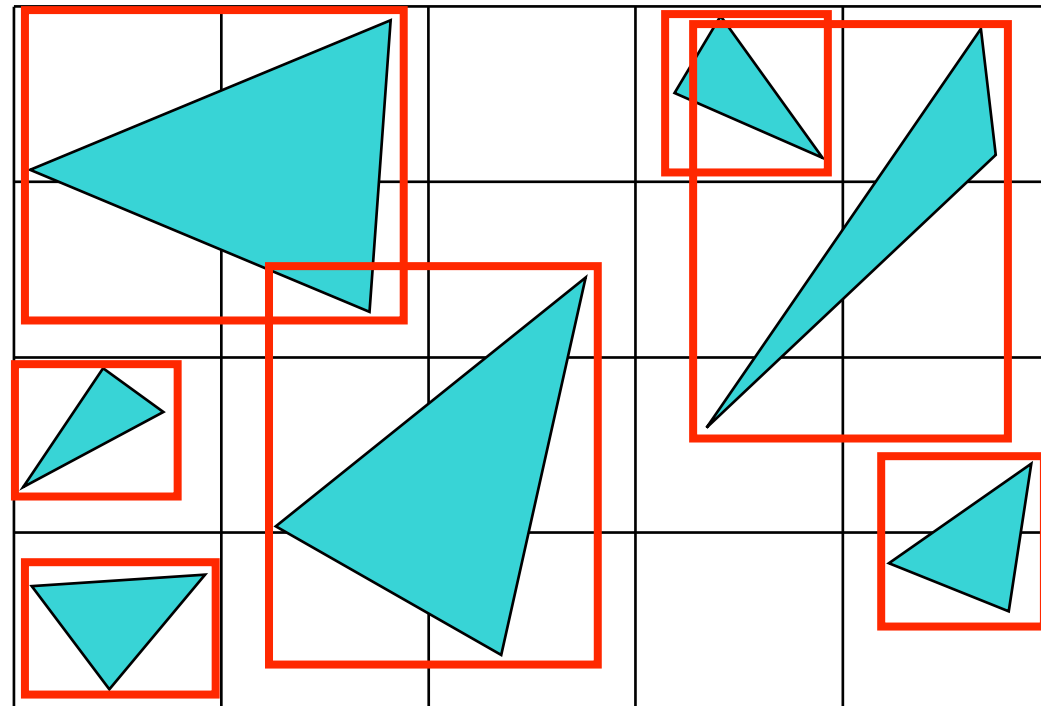




- Primitive in Gitter einfügen:

- Benutze Objekt-BBox
- I.a. mehrfache Einfügung in versch. Zellen

- Jede Zelle enthält Liste mit Zeigern auf Objekte

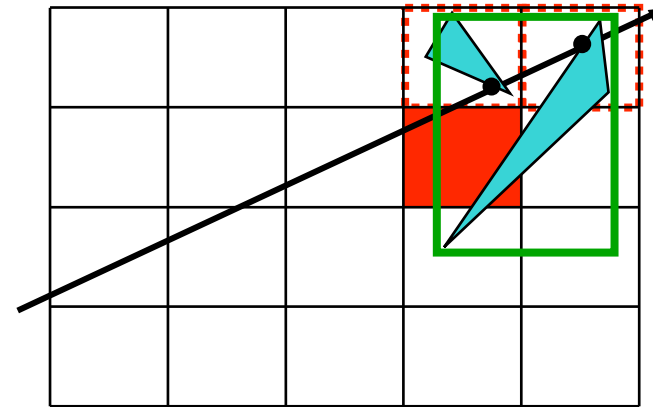
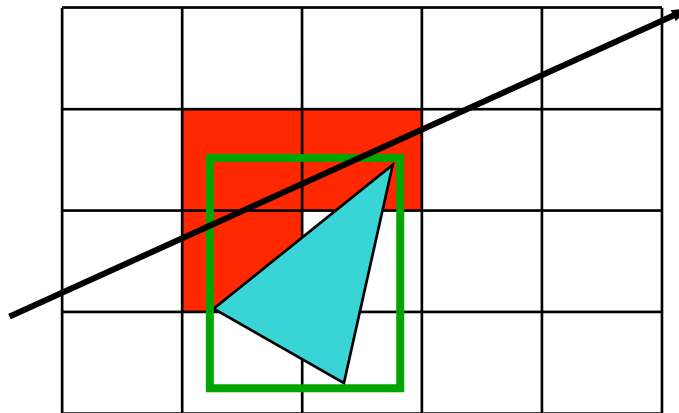




Die Mailbox-Technik



- 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 nächste 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

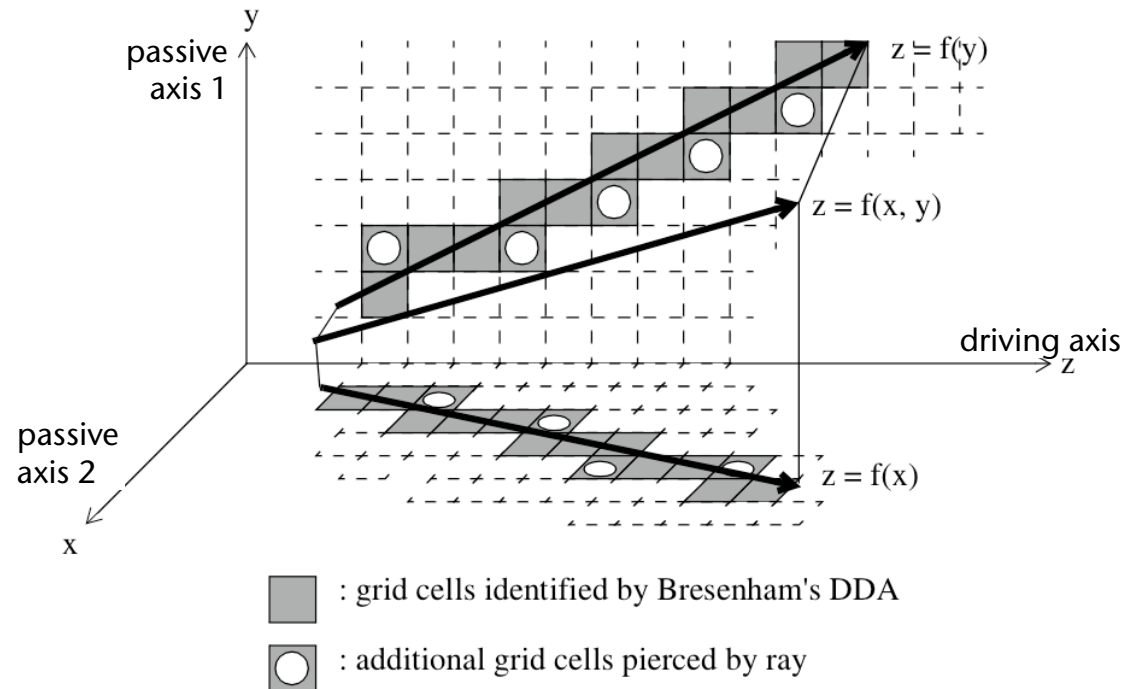


- Probleme der naiven Methode:
 - Schreiben der Mailbox im Dreieck zerstört Cache
 - Man kann nicht mehrere Strahlen parallel testen
- Lösung: speichere Mailbox getrennt von den Dreiecksdaten
 - Kleine Hash-Table zu jedem Strahl, die die Dreiecks-IDs enthält
 - Nur wenige Dreiecke werden von jedem Strahl 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

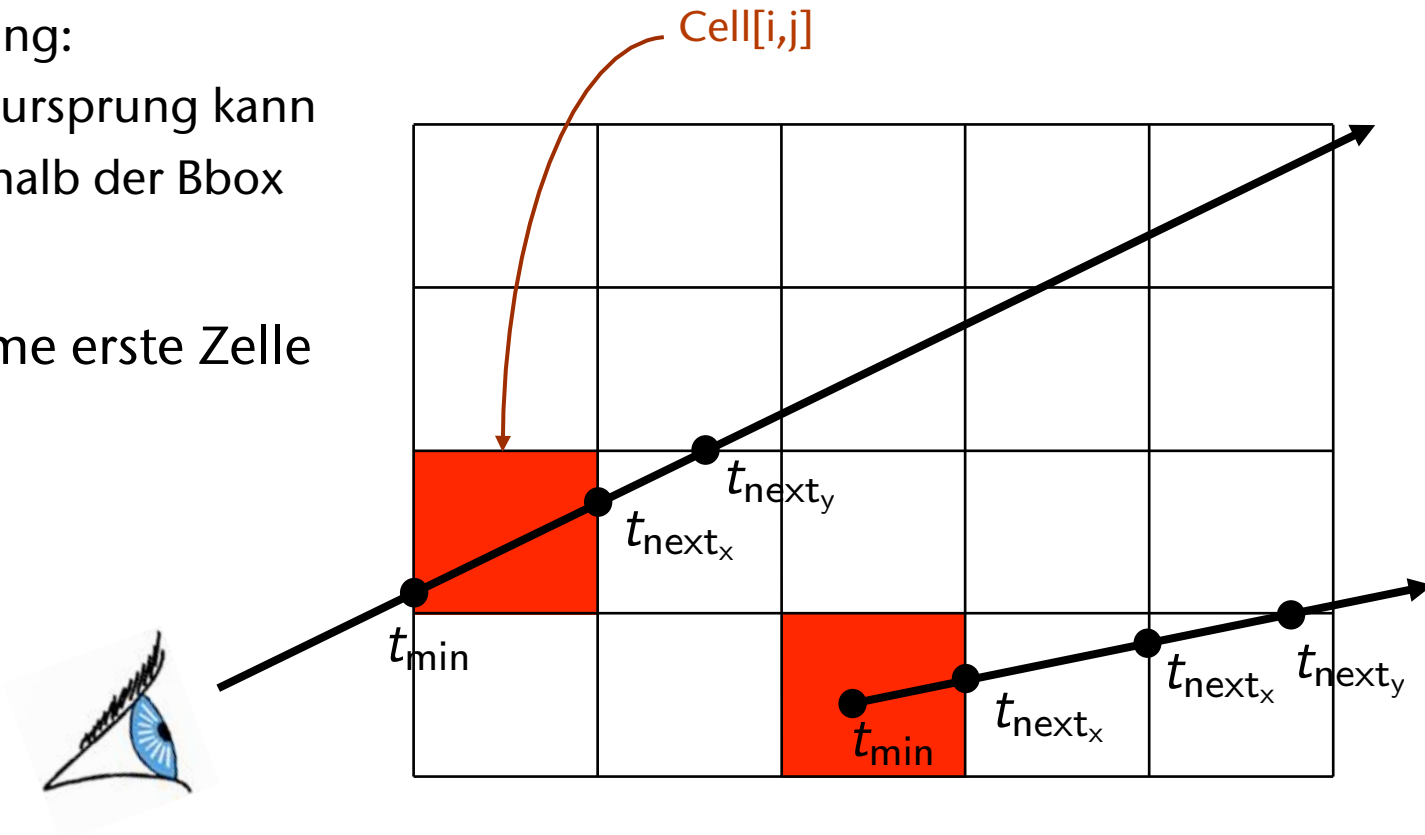
- Einfache Idee: verwende 2 synchronisierte DDA's → **3D-DDA**
 - Wie im 2D gibt es eine "driving axis"
 - Im 3D gibt es aber **zwei** "passive axes"





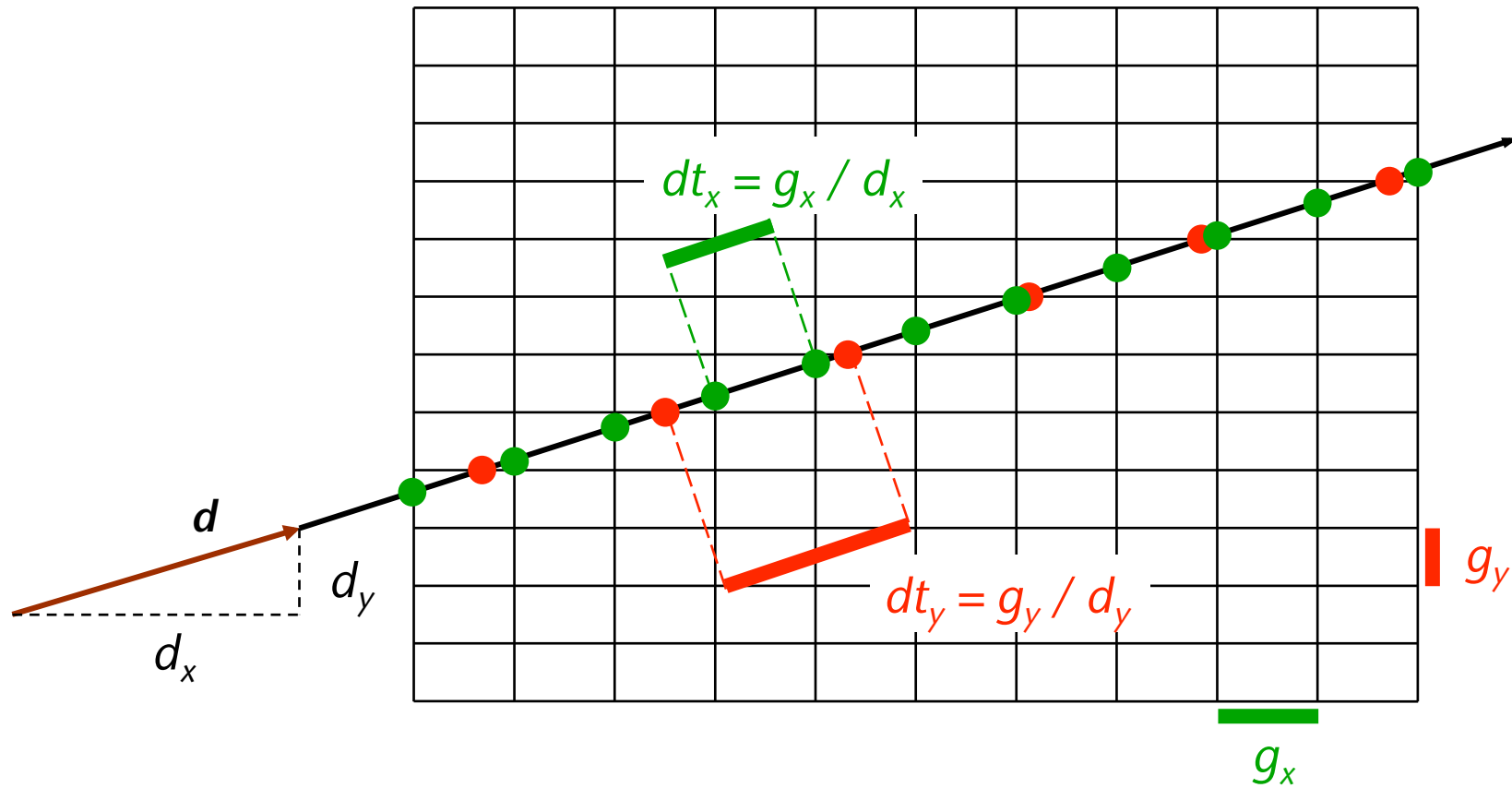
Besserer Gitter-Traversierungs-Algo

- 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

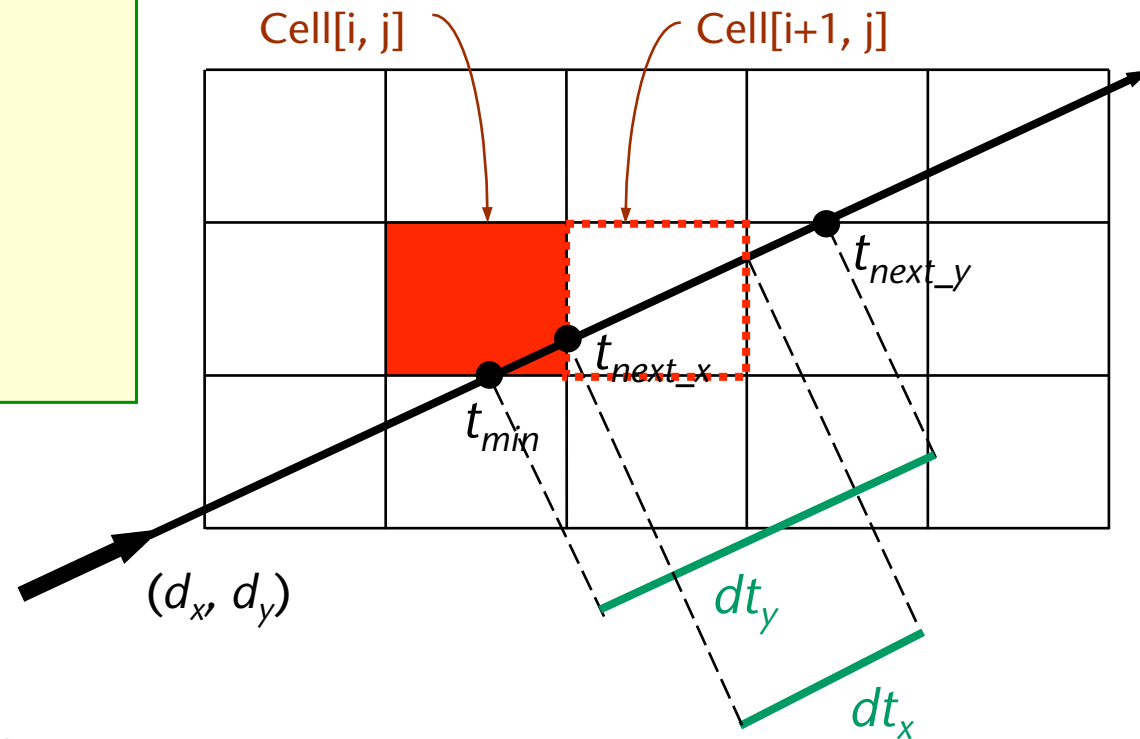




Der Algorithmus



```
if tnext_x < tnext_y :  
    i += sx  
    tmin = tnext_x  
    tnext_x += dtx  
else:  
    j += sy  
    tmin = tnext_y  
    tnext_y += dty
```

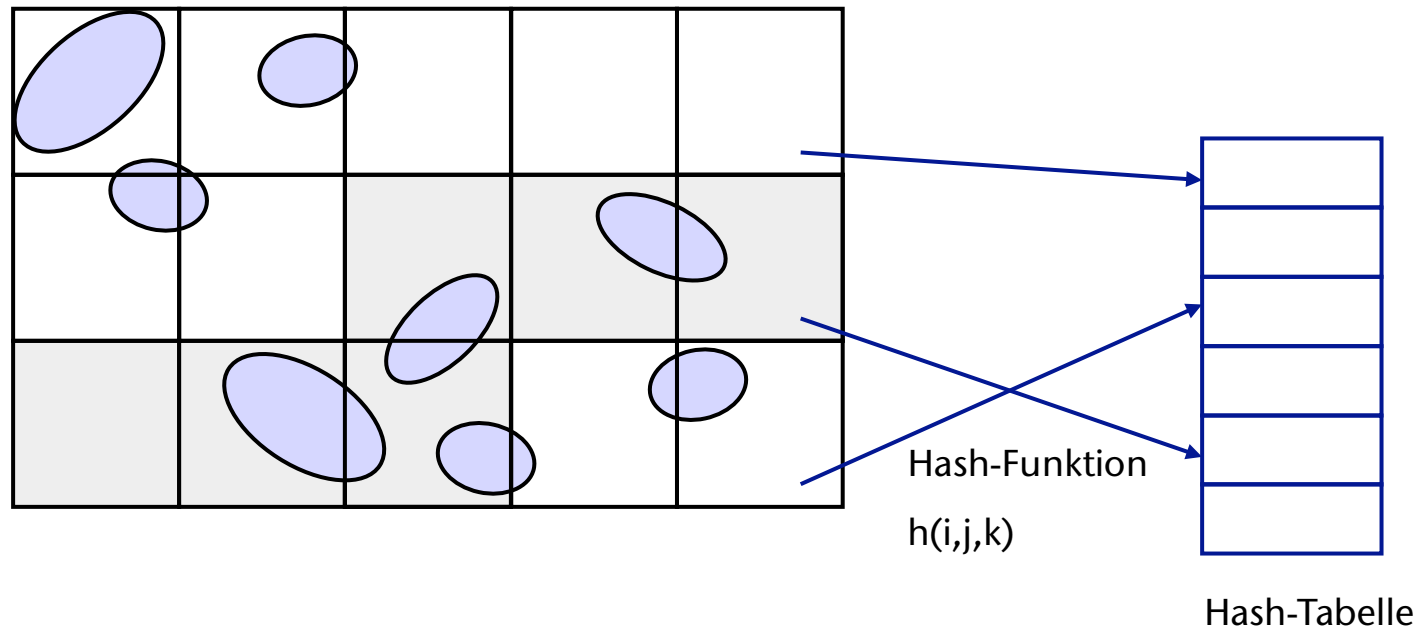


$$s_x = \begin{cases} 1 & , d_x > 0 \\ -1 & , d_x \leq 0 \end{cases}$$



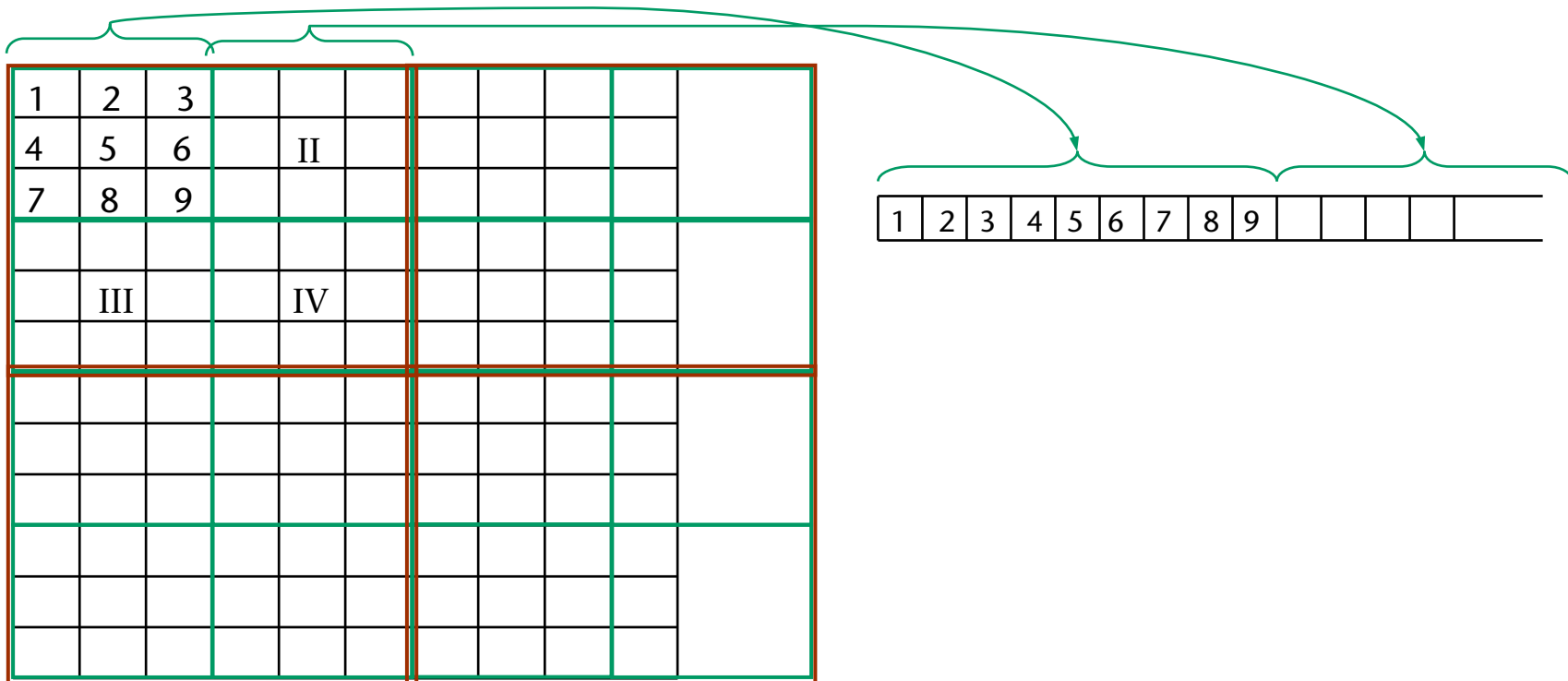
Speicherung

- 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



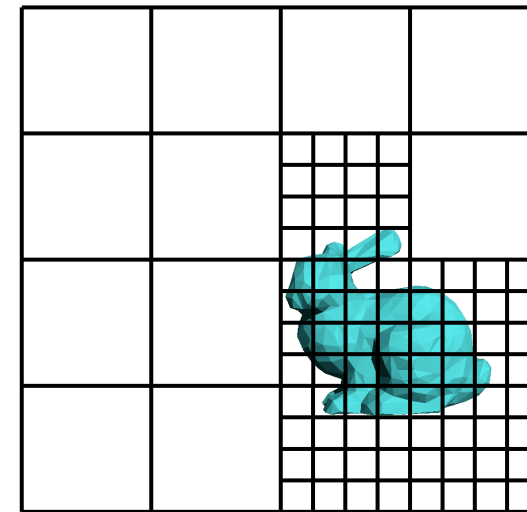


Rekursives Gitter

[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

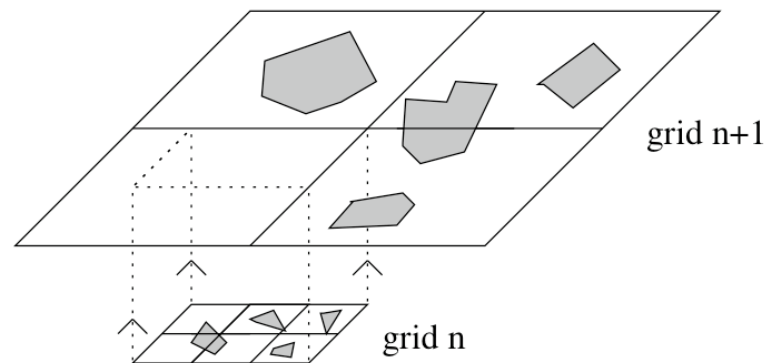


Hierarchical Uniform Grid (HUG)

[1994]

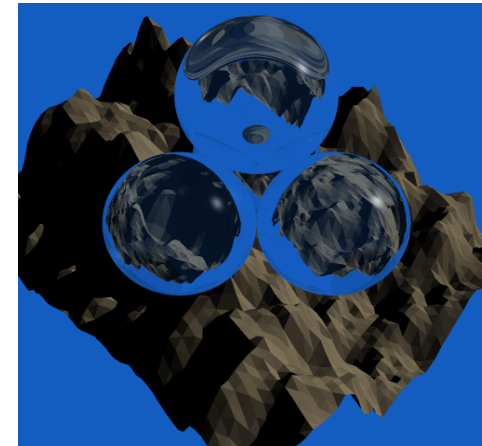
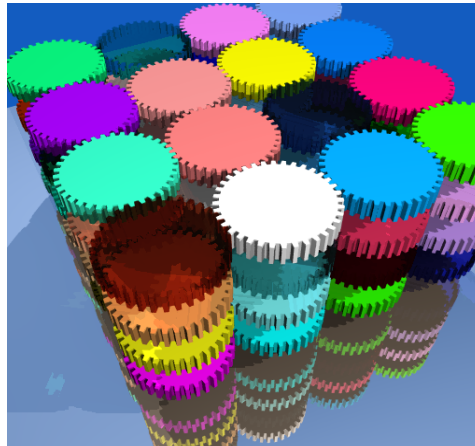
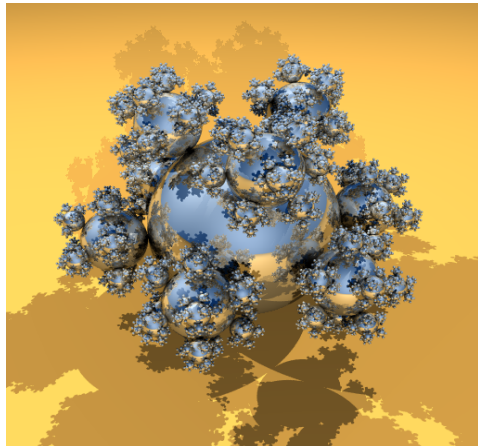


- Problem: Anpassung der Zellengröße an die Objektgröße, wenn viele unterschiedliche Größen dabei sind
- Idee:
 - Gruppiere Objekte nach Größe → Cluster
 - Gruppiere Objekte innerhalb jedes Clusters nach Entfernung → kleinere Cluster
 - Baue Gitter für jedes dieser Cluster
 - Konstruiere Hierarchie über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





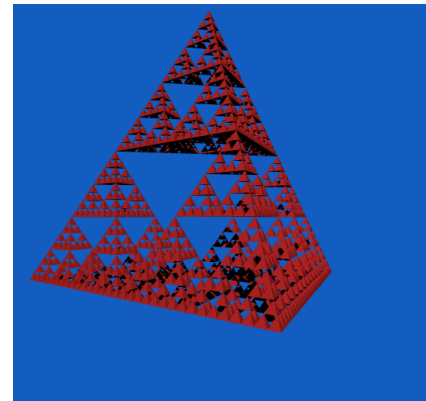
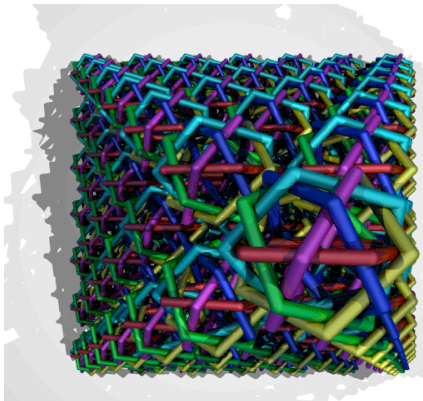
Vergleich einiger hierarchischer Gitter (Aufbau)



	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

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

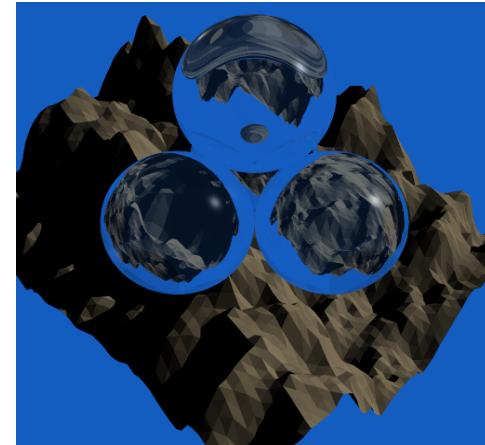
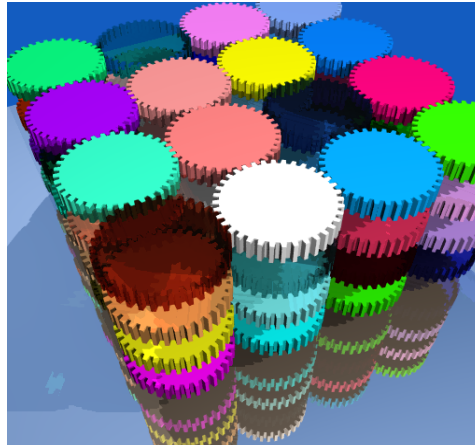
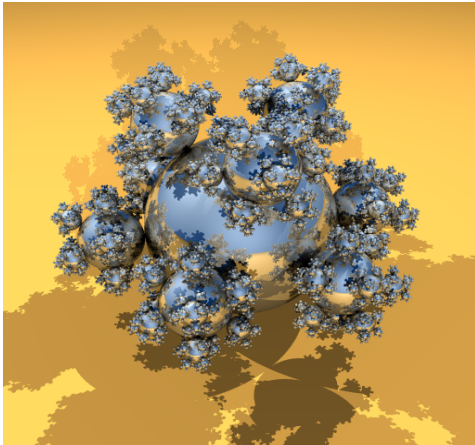
Quelle: Vlastimil Havran, Ray Tracing News vol. 12 no. 1, June 1999, <http://www.acm.org/tog/resources/RTNews/html>



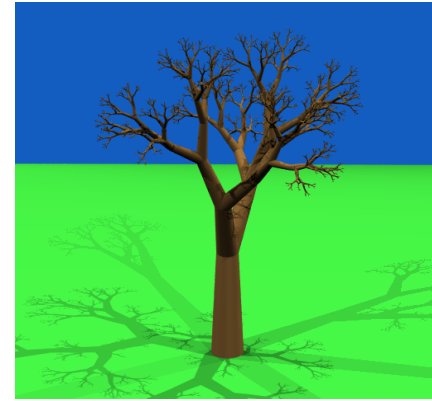
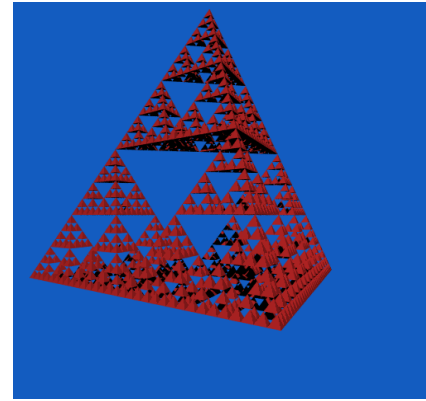
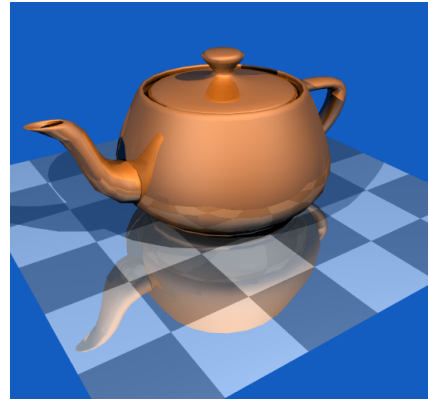
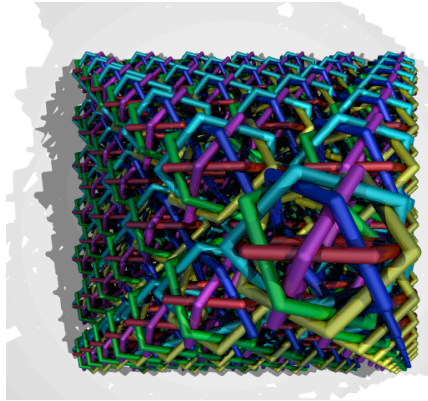
	rings	teapot	tetra	tree
Uniform - $D = 1.0$	0.35	0.3	0.13	0.22
Uniform - $D = 20.0$	0.98	0.65	0.34	0.33
Rekursives Gitter	0.39	1.55	0.47	0.28
HUG	0.45	0.53	0.24	0.48



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
