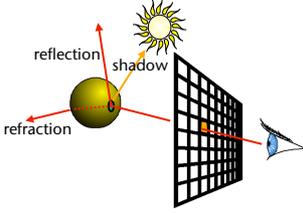
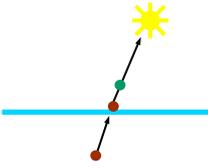
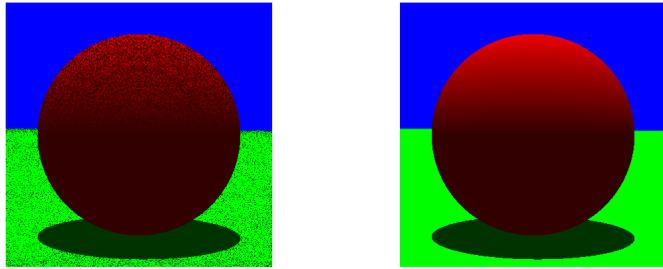


The evil ϵ

- Was passiert, wenn der Ursprung des Strahles **auf** der Oberfläche eines Objektes sitzt?
- Floating-Point ist immer unexakt!
 - Folge: bei den folgenden Strahltests erscheint dieser Ursprung evtl. **innerhalb** des Objektes!
 - Folge: als nächsten Schnittpunkt erhalten wir denselben Punkt wieder!
- "Lösung":
verschiebe Aufpunkt des Strahls immer zuerst um ein ϵ in Richtung des (neuen) Strahls

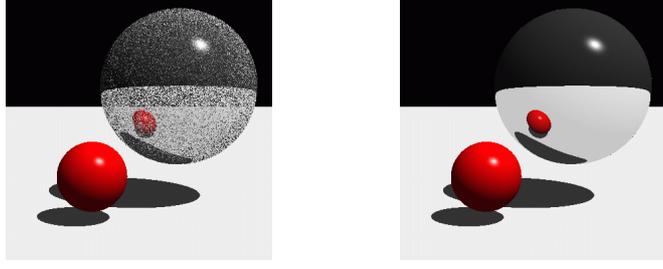



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 106



Without epsilon

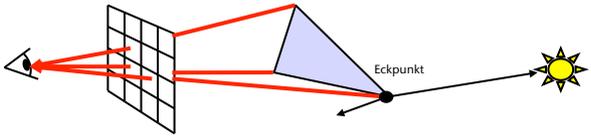
With epsilon



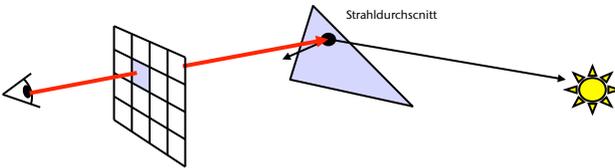
G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 107

Scankonvertierung vs. Raytracing

- Scan-Konvertierung: Auswerten eines Strahls, der durch jeden Eckpunkt eines Objektes gesendet wird

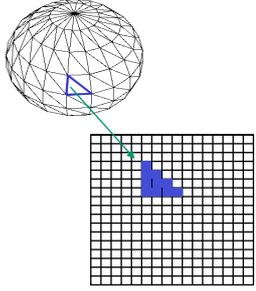


- Raytracing: Auswerten eines Strahls, der durch einen Bildschirmpixel gesendet wird



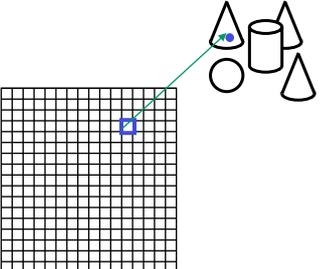
G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 108

- Zum Umwandeln einer Szene mittels Scan-Konvertierung ...



... scan-konvertiere jedes Dreieck

- Zum Umwandeln einer Szene mittels Raytracing ...



... verfolge für jedes Pixel einen Strahl

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 109

Vor- und Nachteile

- Scan-Konvertierung:
 - schnell (da nur Eckpunkte)
 - wird unterstützt von aktuellen Grafikkarten
 - geeignet für Echtzeitanwendungen
 - ad-hoc Lösung für Schatten, Transparenz
 - Keine Interreflexion
- Raytracing:
 - noch rel. langsam (Suche nach Schnittpunkten zwischen Strahlen und Objektprimitiven)
 - bisher von keiner kommerziellen Hardware unterstützt
 - Offline-Rendering-Verfahren
 - Allgemeine Lösung für Schatten, Transparenz und Interreflexion, Clipping und Culling

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 110

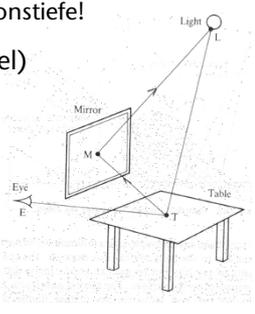
Weitere Vorteile des Raytracings:

- Eignet sich besonders für Szenen mit hohem spiegelndem und transparentem Flächenanteil
- Kann beliebige Objektrepräsentationen verarbeiten (z.B. CSG, Rauch, ...)
 - Einzige Anforderung: man muß Schnitt zwischen Strahl und Objekt und die Normale in diesem Schnittpunkt berechnen können
- Keine explizite perspektivische Transformation oder Clipping nötig

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 111

Nachteile des (einfachen) Raytracings

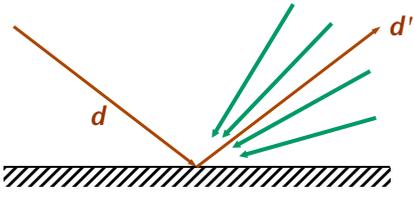
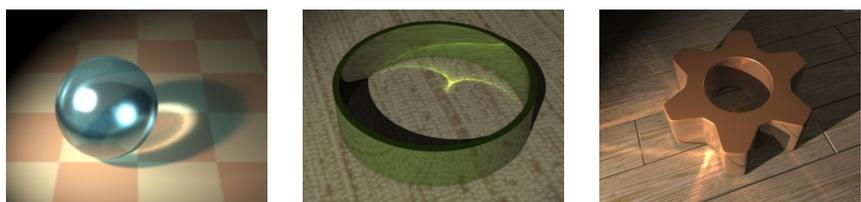
- Sehr viele Strahlen
 - Naives Ray-Casting: $O(p \cdot n \cdot l)$, $p = \# \text{ Pixel}$, $n = \# \text{ Polygone}$, $l = \# \text{ Lichtquellen}$
 - Anzahl Strahlen wächst exponentiell mit Rekursionstiefe!
- Keine indirekte Beleuchtung (z.B. durch Spiegel)
- Keine weichen Halbschatten
- Shading muß bei jeder Änderung der Kamera neu berechnet werden, obwohl diese nur von den Lichtquellen und den Objekten abhängen
- Für alle diese Nachteile wurden natürlich verschiedene Abhilfen vorgeschlagen



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 112

Beispiel für das Problem der indirekten Beleuchtung: Kaustiken

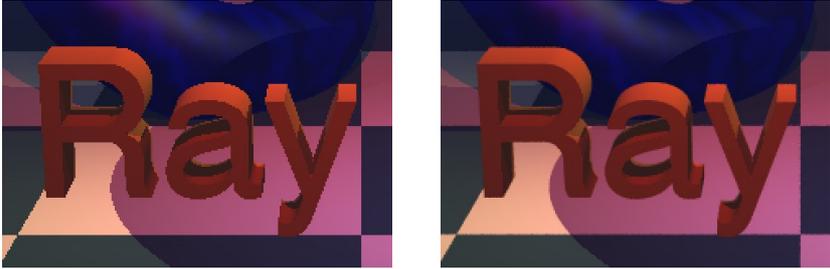
- Konzentration von Licht
- Lichtstrahlen treffen sich in einem Punkt
- Das normale Raytracing betrachtet nur 1 reflektierten Strahl

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 113

Aliasing

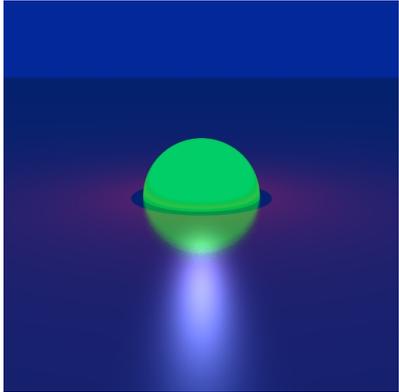
- Ein Strahl pro Pixel → typ. Aliasing-Artefakte:
 - Treppeneffekte
 - Moiré- Effekt



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10
Ray-Tracing 114

Distribution Ray Tracing

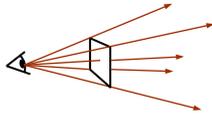
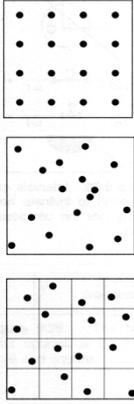
- Einfache Modifikationen des rekursiven Ray Tracings für
 - Antialiasing
 - Weiche Schatten
 - Tiefenschärfe
 - Spekulare Reflexion
- Bewegungsunschärfe
- Anderer Name früher:
 - „Distributed Ray Tracing“
 - ist aber sehr unglücklich ("distributed" = verteilt)



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10
Ray-Tracing 115

Anti-Aliasing beim Ray-Tracing

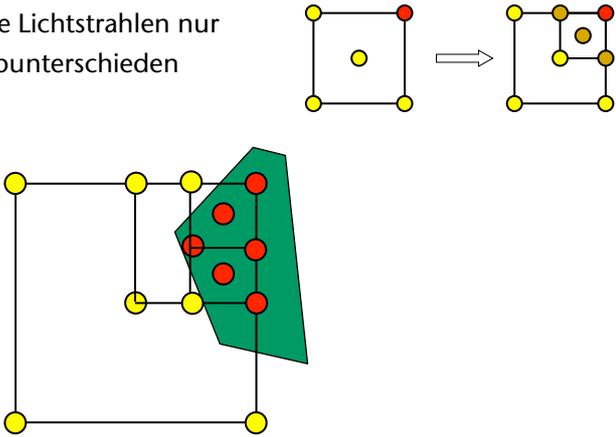
- Anstatt pro Pixel nur einen Strahl zu verfolgen werden mehrere Strahlen verfolgt und die resultierende Farbe gemittelt
- Methoden zur Auswahl der Punkte:
 - **Regelmäßige Abtastung** (Problem der Moire Muster)
 - **Zufällige Abtastung** (Problem des Rauschens)
 - **Stratifikation**, d.h. eine Kombination von regelmäßiger und zufälliger Abtastung, indem ein regelmäßiges Gitter zufällig gestört wird.

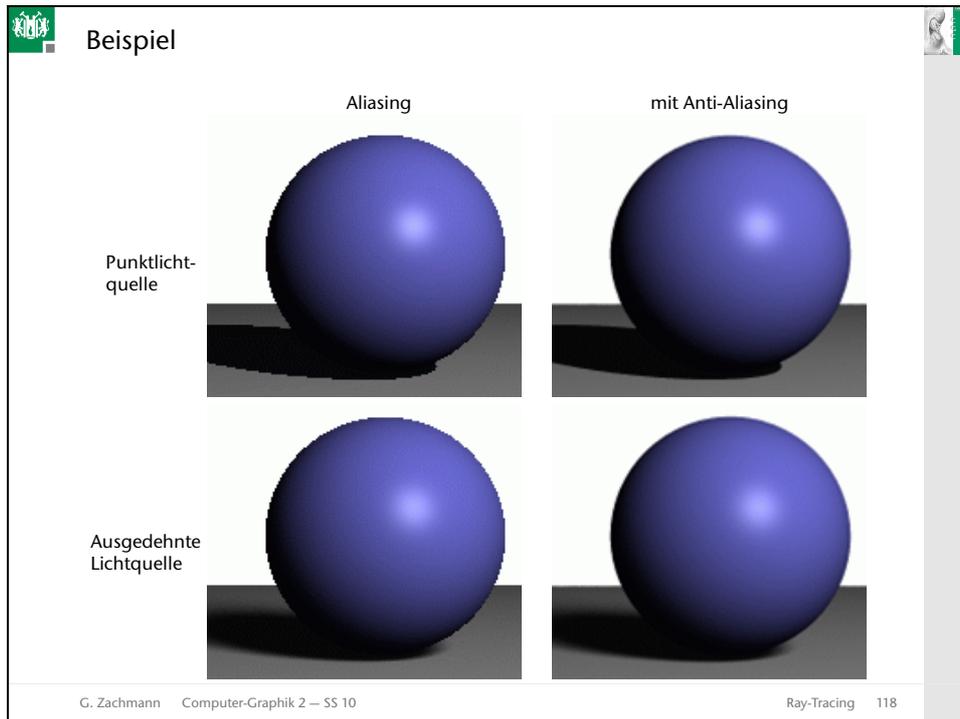
G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 116

Adaptives Supersampling

- Idee: verschiebe Lichtstrahlen nur bei großen Farbunterschieden
- Beispiel:
- Resultierende Farbe = Durchschnittsfarbe aller Samples, gewichtet mit dem Flächenanteil des Pixels, den das Sample "überdeckt"

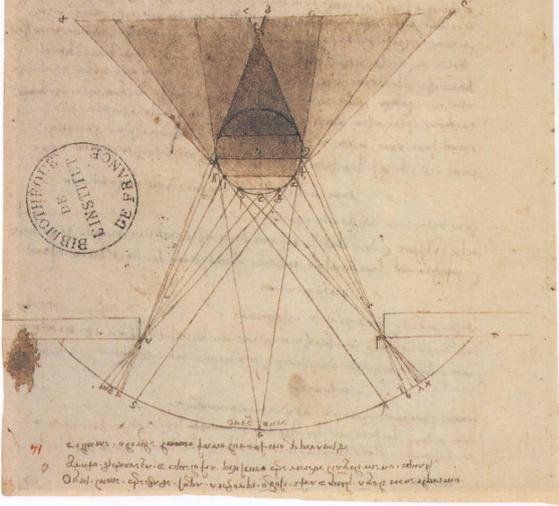


G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 117



Weiche Schatten, Halbschatten

- Regionen:
 - "Vollschatten" (*umbra*)
 - Halbschatten (*penumbra*)
 - voll beleuchtet



XVI Léonard de Vinci (1452-1519). Lumière d'une fenêtre sur une sphère ombragée avec: (en partant du haut) ombre intermédiaire, primitive, dérivée et (sur la surface, en bas) portée. Plume et lais sur pointe de métal sur papier, 24 x 38 cm. Paris, Bibliothèque de l'Institut de France (ms. 2185; B.N. 2038, f° 14 r°).

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 119

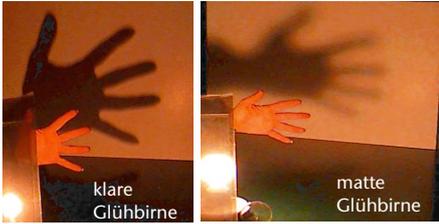
In der Realität ...



http://3media.initialized.org/photos/2000-10-18/index_gall.htm



<http://www.davidfay.com/index.php>



klare Glühbirne matte Glühbirne

<http://www.pa.uky.edu/~sciworks/light/preview/bulb2.htm>

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 120

... und im Ray-Tracing

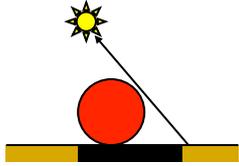
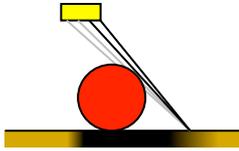
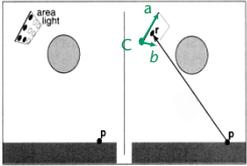
- Bisher: 1 Schattenstrahl

$$s_i = \begin{cases} 1, & \text{Lichtquelle sichtbar} \\ 0, & \text{nicht sichtbar} \end{cases}$$

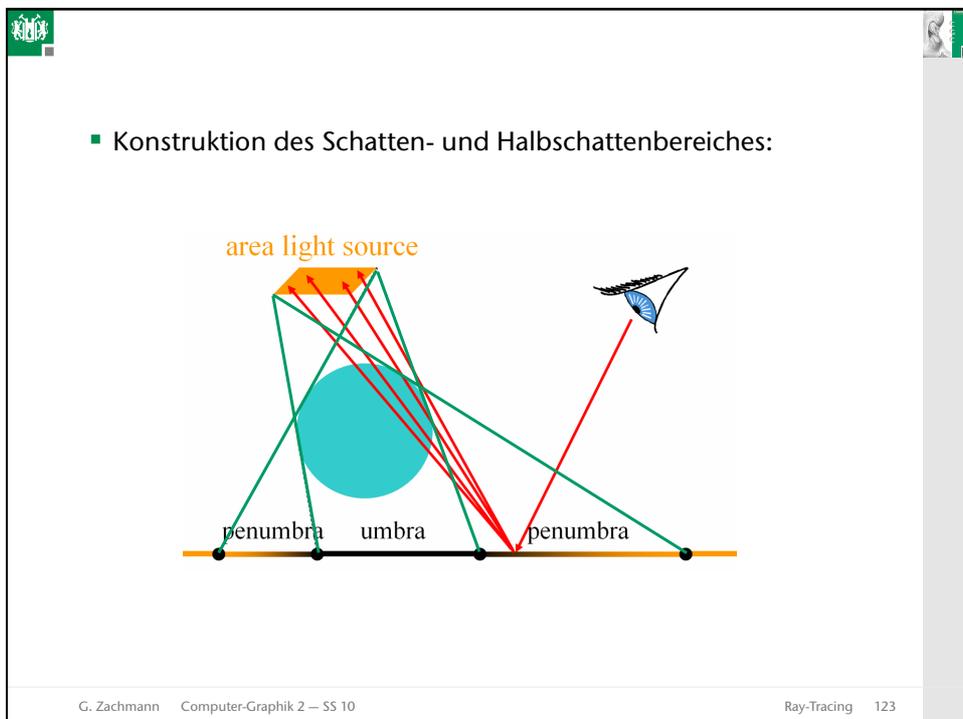
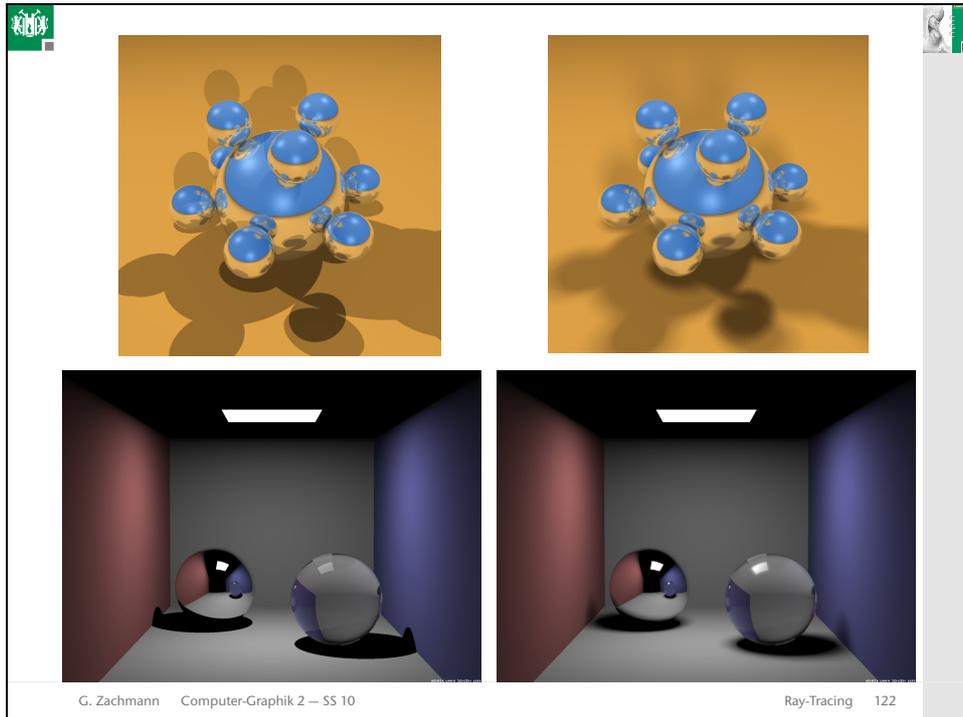
- Jetzt: mehrere Schattenstrahlen

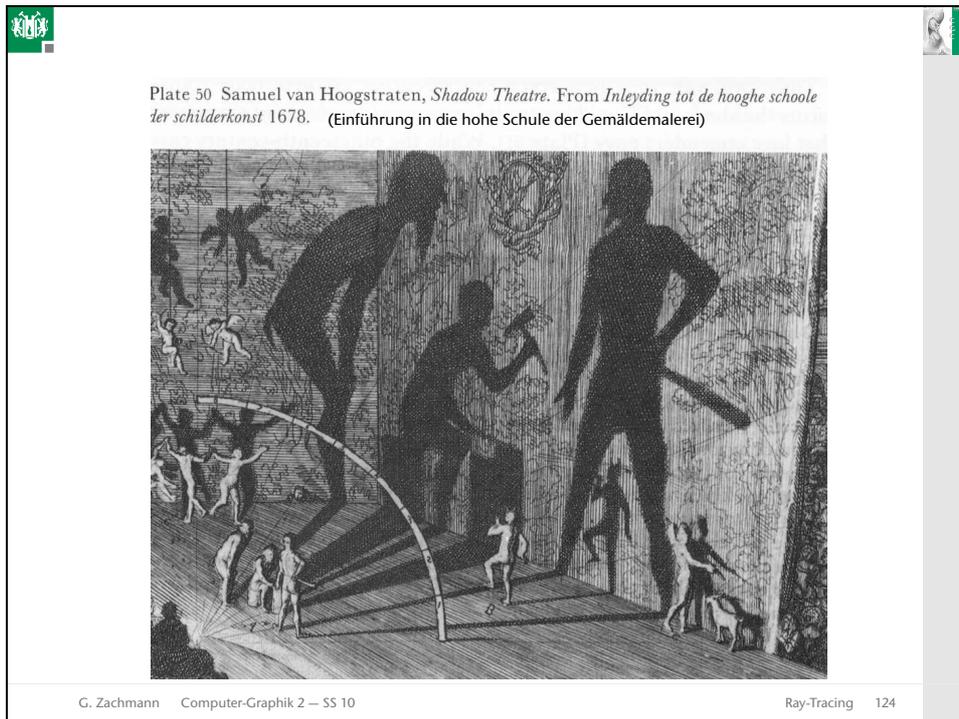
$$s_i = \frac{\text{Anzahl sichtbarer Samples}}{\text{Anzahl Schattenstrahlen}}$$

- Drei Arten von Sampling der Lichtquelle:
 - Regelmäßige Abtastung der Lichtquelle
 - Zufällige Abtastung der Lichtquellen
 - Stratifizierte Abtastung

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 121

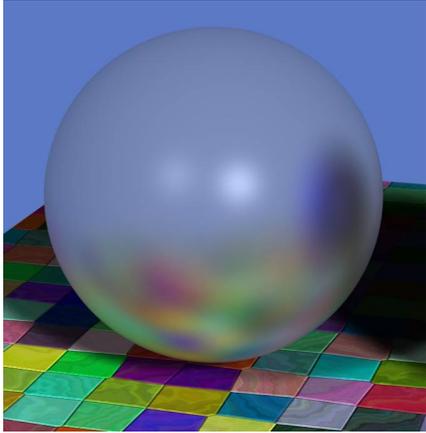


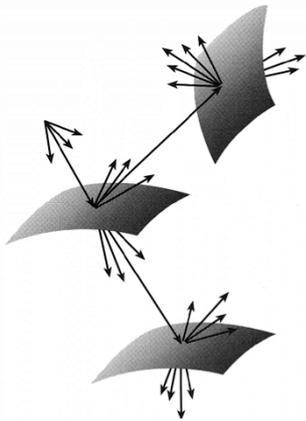


Spekulare Reflexion

- Bisher: genau 1 reflektierter Strahl
 - Problem, falls die horizontale Fläche matt glänzend sein soll ...
- Lösung (brute-force):
 - Viele reflektierte Strahlen
 - Beiträge gemäß Kosinus-Hoch-n-Gesetz (Phong) aufaddieren

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 125

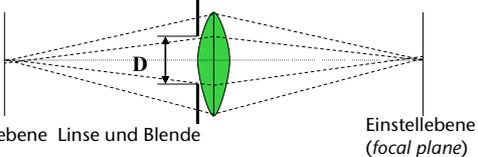
■ Beispiel: 

■ Strahlbaum: 

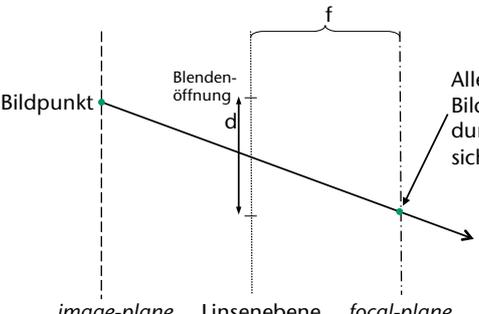
G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 126

Tiefen(un-)schärfe

■ Bisher: ideales Lochkameramodell
 ■ Für Tiefenunschärfe muß man reale Kameras modellieren



Filmebene Linse und Blende Einstellebene (focal plane)



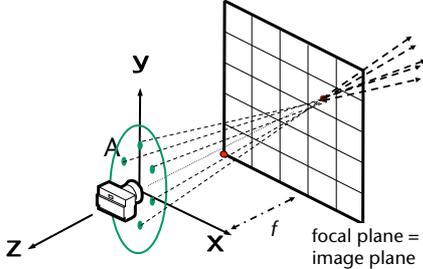
Bildpunkt Blendenöffnung d f
image-plane Linsenebene *focal-plane*

Alle Strahlen, die vom Bildpunkt ausgehen und durch die Linse, treffen sich in diesem Punkt.

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 127

■ Eine Klasse **LensCamera** würde die Strahlen also ungefähr so erzeugen:

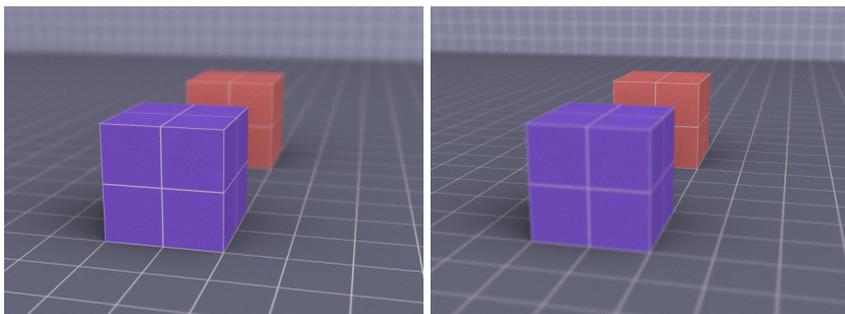
- Verteile Strahlen auf die gesamte Blendenöffnung und mitte



- Bemerkungen:
 - Sample die Scheibe (=Linse) stratifiziert
 - Achtung bei Kombination mit Anti-Aliasing

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 128

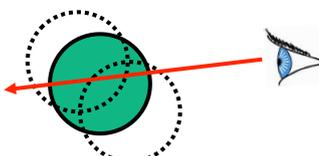
Beispiele



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 129

Motion Blur (Bewegungsunschärfe)

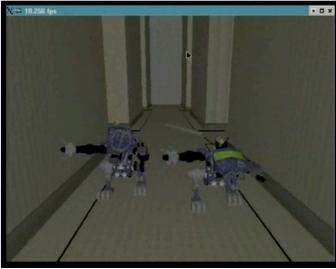
- Schieße viele Strahlen pro Pixel
- Wähle für jeden Strahl einen Zeitpunkt $t \in [t_0, t_1]$
- Betrachte während des Schnitttests mit diesem Strahl alle Objekte an ihren Positionen $P = P(t)$ zu diesem Zeitpunkt t
- Mittle Pixelwerte




G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 130

"But is it real-time?"

- Ray Tracing in der Vergangenheit war sehr langsam
- Inzwischen Echtzeit-Fähigkeit für einige Szenen
- OpenRT-Projekt: Real-Time Ray Tracing
 - Siehe <http://www.openrt.de>
- Special-Purpose-Hardware, PC-Cluster
- Nur eine Frage der Zeit, bis Commodity-Graphics-Hardware es kann

Universität Saarbrücken

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 145




Ray tracing in Egoshooters

Example: Quake3 Demo

<http://graphics.cs.uni-sb.de/~sidapohl/egoshooter/>



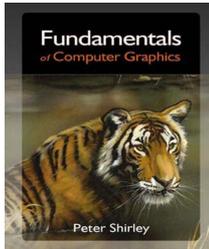
Quake 3 mit Ray-Tracing. Plattform: Cluster mit 20 AMD XP1800. 2004
<http://graphics.cs.uni-sb.de/~sidapohl/egoshooter/>

G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 146




Eine Anmerkung zu Typos

- Typos passieren auch auf den Folien
 - Keine Angst haben zu fragen!
 - Bitte teilen Sie mir Fehler mit
- Typos passieren sogar in Lehrbüchern
 - Ich selbst habe 2 nicht-triviale Fehler im Shirley-Buch, 2-te Auflage gefunden [WS 05/06]
 - Fazit: mitdenken, nicht einfach direkt kopieren



G. Zachmann Computer-Graphik 2 – SS 10 Ray-Tracing 147