

CGG Seminar HS07

Stochastisches Ray Tracing

Michael Pfeuti
Universität Bern

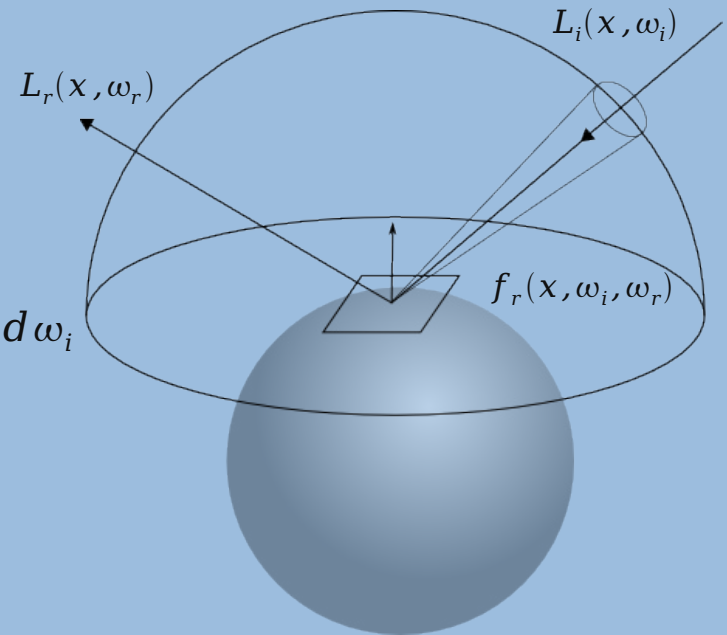
Inhalt

- > Grundprinzip und Vorteile / Nachteile
- > Verteilungstechniken
- > Implementation
- > Beispiele
- > Beschleunigungsverfahren
- > Was noch zu tun ist
- > Literaturliste

Grundprinzip

> Rendergleichung (J. T. Kajiya)

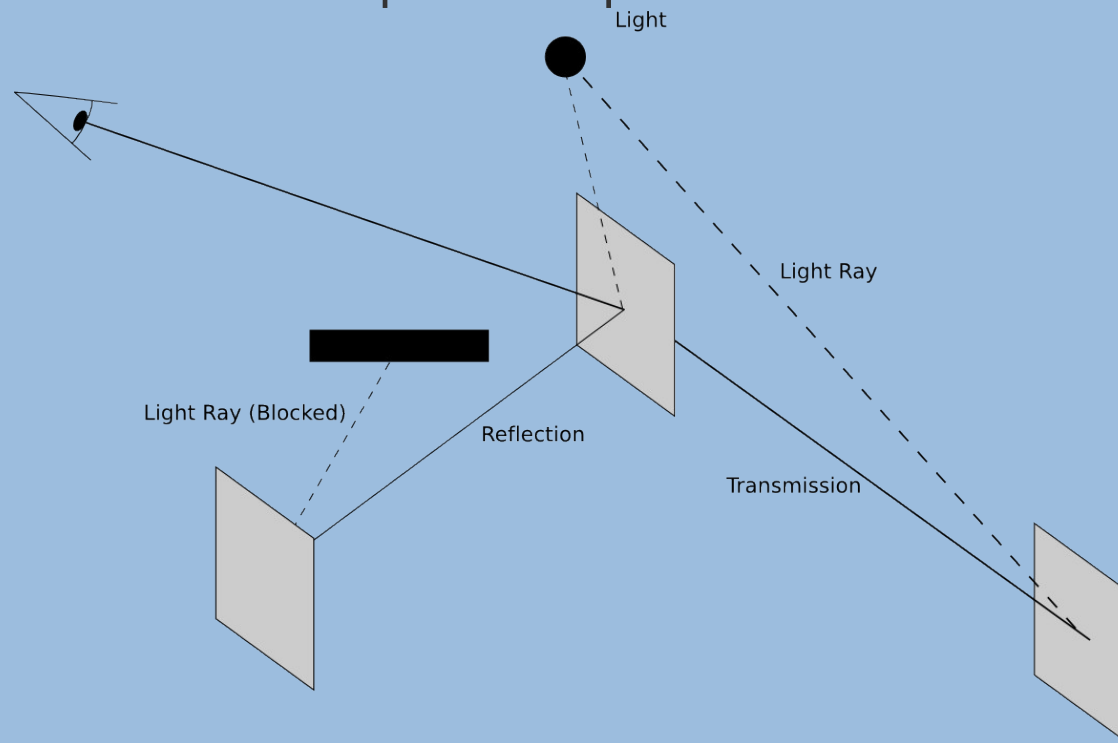
$$L_r(x, \omega_r) = L_e(x, \omega_r) + \int_A f_r(x, \omega_i, \omega_r) * L_i(x, \omega_i) d\omega_i$$



- > Standard Ray Tracing (mit einem Strahl) ist eine sehr ungenaue Approximation der Rendergleichung
- > Stochastisches Ray Tracing approximiert die Rendergleichung besser, da mehrere Strahlen berechnet werden

Grundprinzip

- > Reguläres Ray Tracing:
 - Ein Strahl pro Pixel
 - Ein Reflexions- und ein Transmissionsstrahl
 - Ein Schattenstrahl pro Lichtquelle



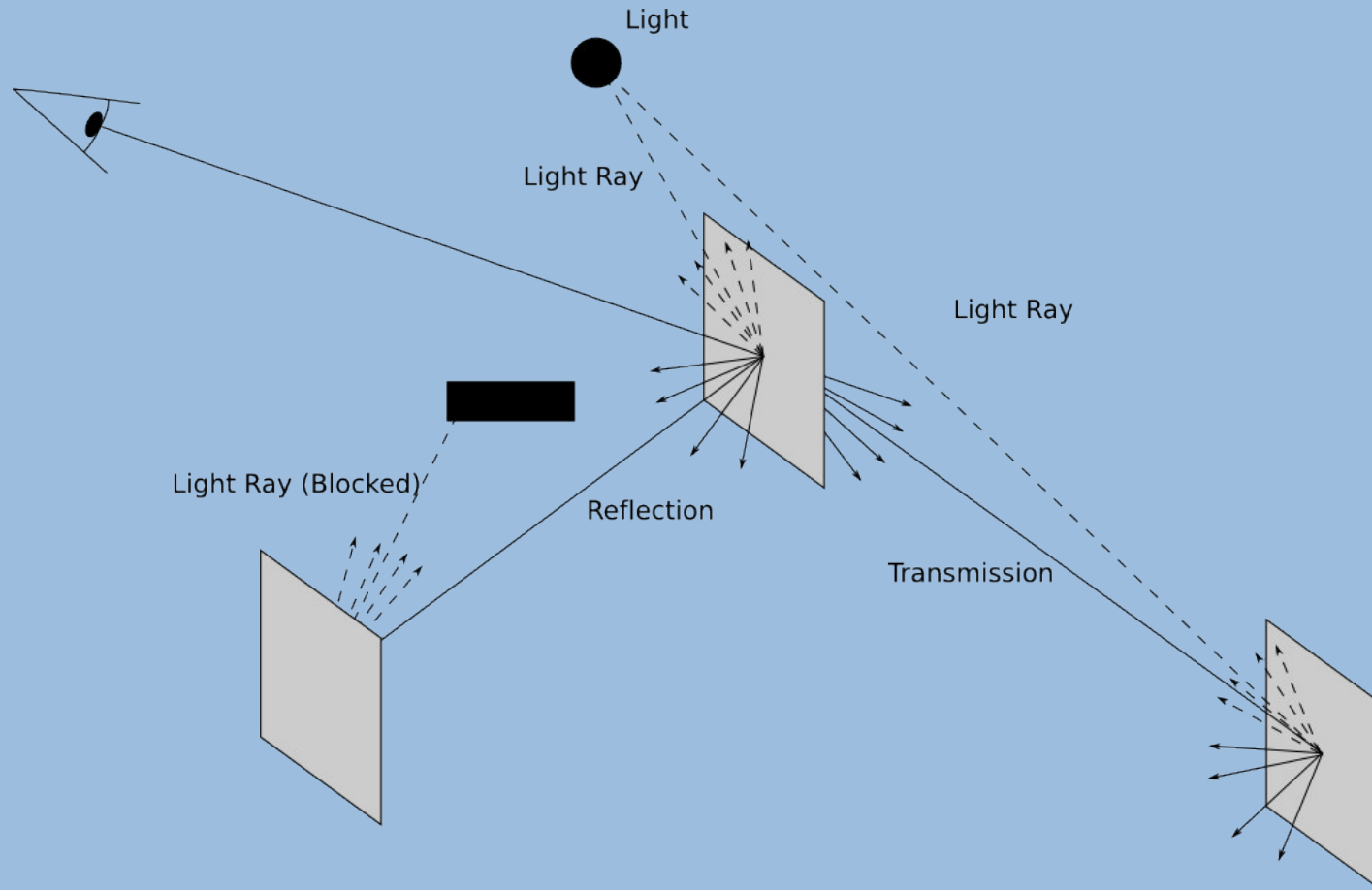
Grundprinzip

- > Stochastisches Ray Tracing (SRT):
 - Auch bekannt als Distributed Ray Tracing oder Diffuses Ray Tracing

- > Idee:
 - Mehrere Strahlen pro Pixel
 - Supersampling => Antialiasing
 - Depth of Field (Tiefenunschärfe)
 - Mehrere Reflexions- und Transmissionsstrahlen (Unscharfe Reflexionen und Transmissionen)
 - Mehrere Schattenstrahlen pro Lichtquelle (Halbschatten)
 - Verteilen von Strahlen über ein Zeitintervall simuliert Motion Blur

Grundprinzip (SRT)

Strahlenverlauf für SRT ohne Depth of Field und Supersampling



Vor- und Nachteile von SRT

> Vorteile

- Halbschatten
- Unscharfe Reflexionen
- Unscharfe Transmissionen
- Antialiasing (Supersampling)
- Tiefenunschärfe
- Motion-Blur

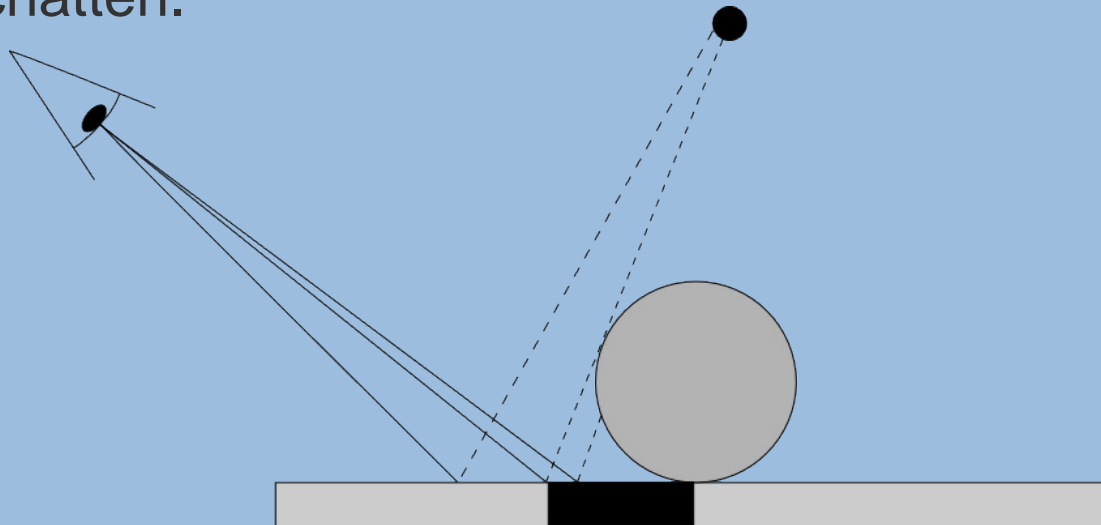
Photorealistischer

> Nachteile

- Hoher Rechenaufwand
- Bildrauschen durch Undersampling (zu wenige Strahlen)
- Nur Approximation der Rendergleichung

Grundprinzip (Schatten)

- > Beim normalen Ray Tracing wird pro Schnittpunkt und Lichtquelle genau ein Lichtstrahl ausgesandt.
- > Binäres Resultat (Beleuchtet / Am Schatten)
- > Somit entstehen nur “harte” Schatten, also keine Halbschatten.



Grundprinzip (Halbschatten)

1) Anstelle eines Lichtstrahls werden mehrere Lichtstrahlen zur Lichtquelle berechnet.

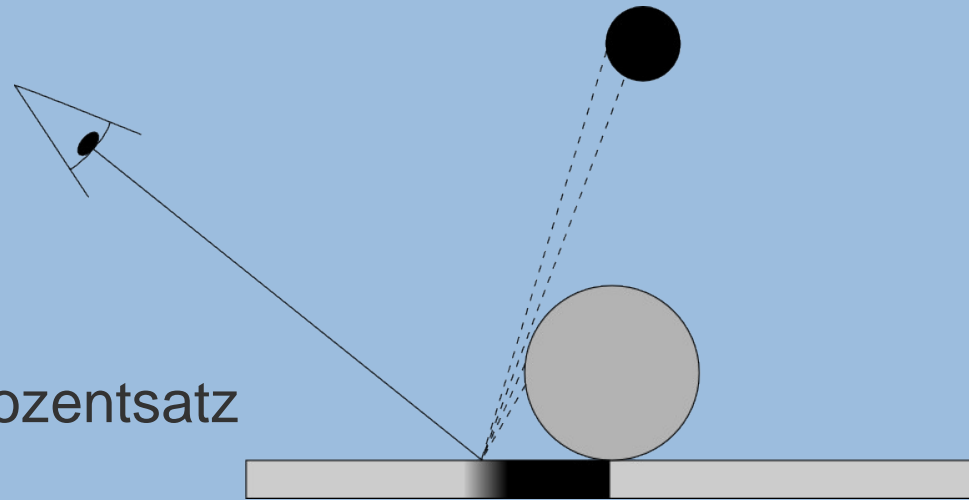
2) Prozentsatz der Strahlen

$$\frac{\{ \text{nicht geblockte Strahlen} \}}{\{ \text{ausgesandte Strahlen} \}}$$

3) Shading mit berechnetem Prozentsatz

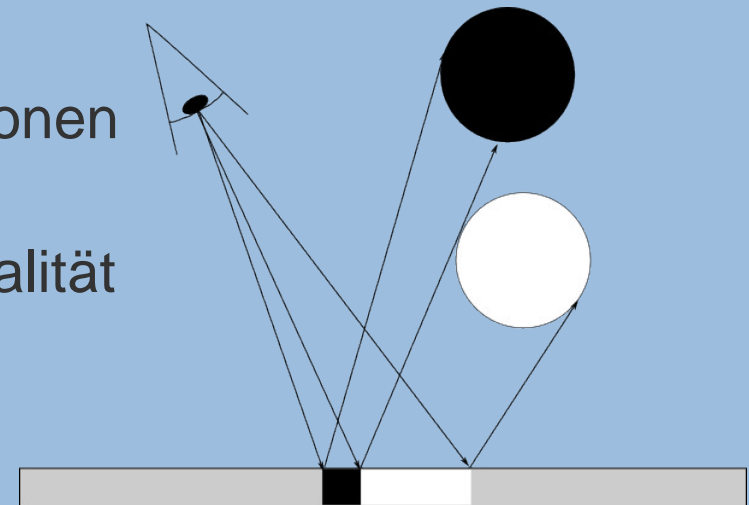
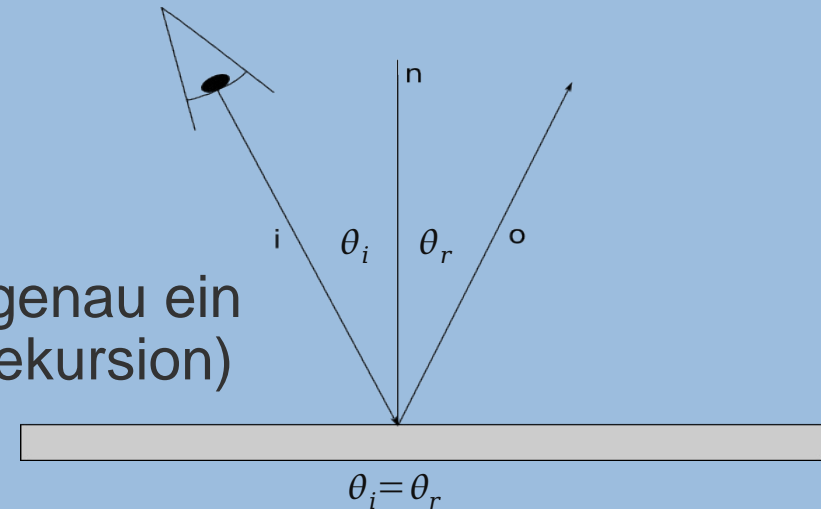
=> Halbschatten ausser bei Punkt-Lichtquellen (ohne Fläche)

Wie gross der Halbschattenbereich ist, hängt von der Grösse der Lichtquelle ab. (Grösser Lichtquelle => grösser Halbschatten)



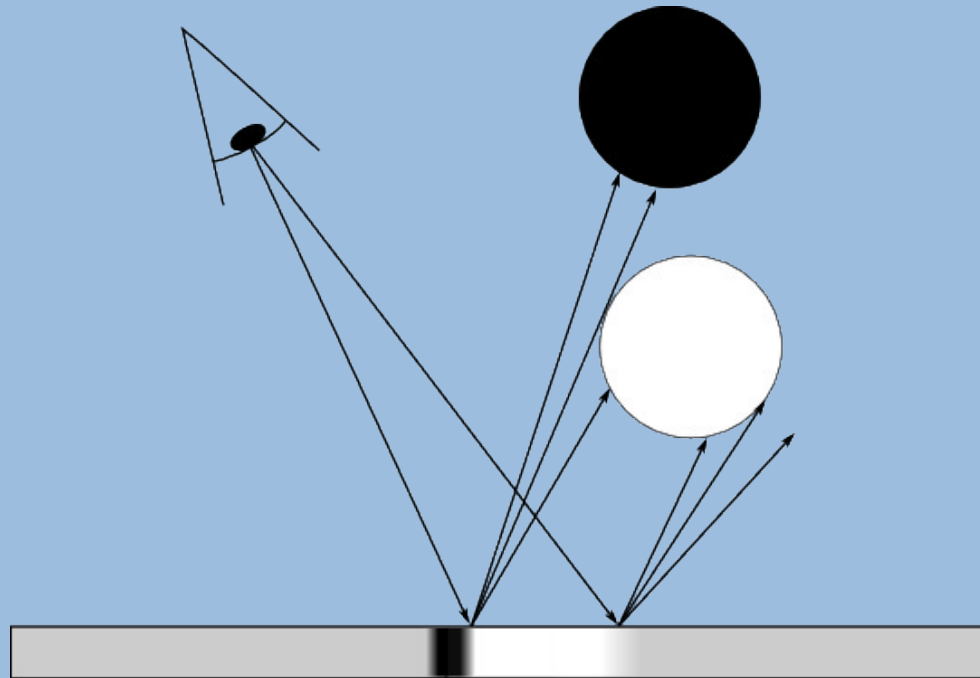
Grundprinzip (Reflexion)

- > Reflexionsgesetz
 - Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- > Beim normalen Ray Tracing wird genau ein Reflexionsstrahl berechnet (pro Rekursion)
- > Dadurch entstehen perfekte Reflexionen
- > Perfekte Reflexionen sind in der Realität eher selten (Spiegel)



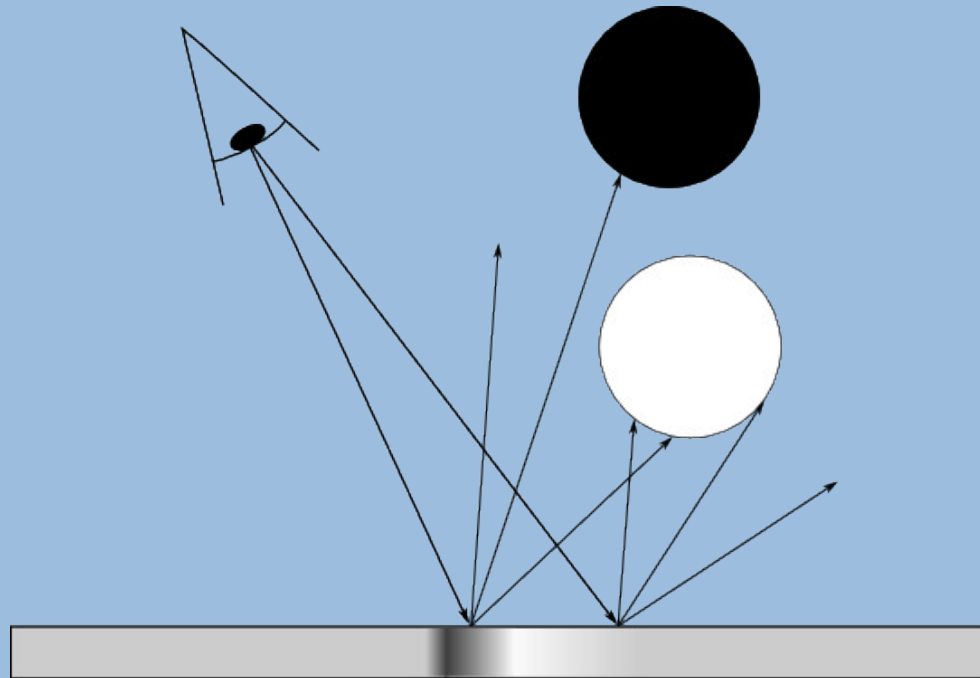
Grundprinzip (Unscharfe Reflexionen)

- > Um unscharfe oder verschwommene Reflexionen zu erzeugen, werden mehrere Reflexionsstrahlen ausgesandt.
- > Die Farbwerte der einzelnen Strahlen werden anschliessend gemittelt.



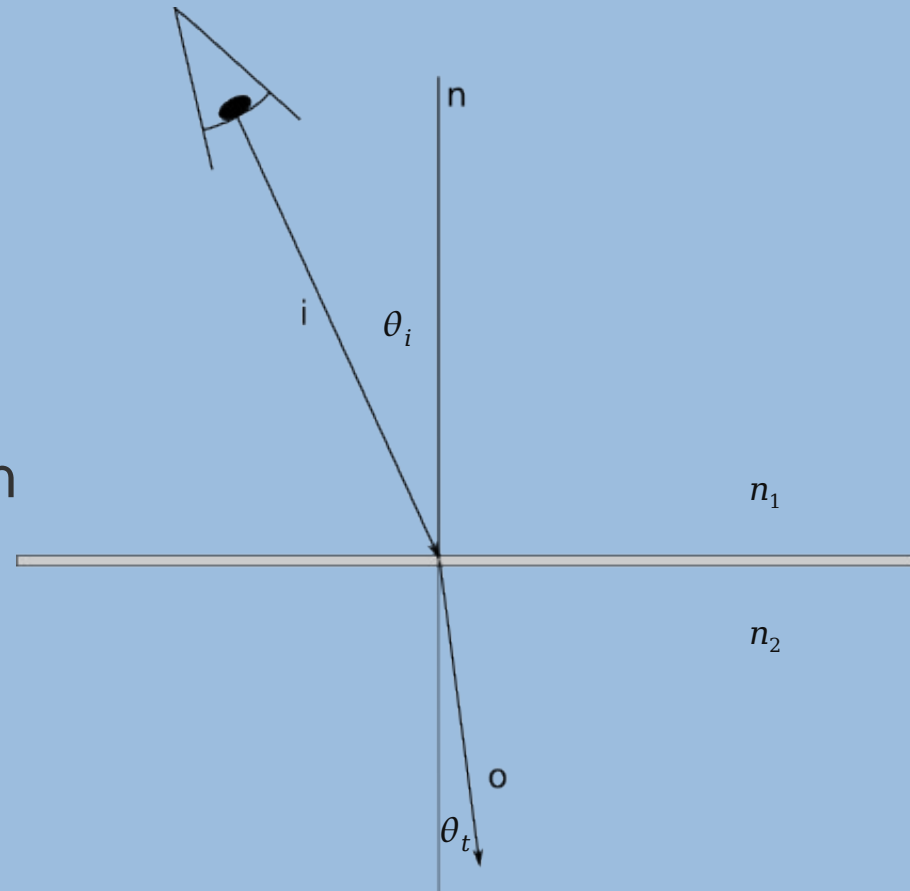
Grundprinzip (Reflexion)

- > Je grösser der Bereich ist in dem man die Strahlen verteilt, desto verschwommener werden die Reflexionen.



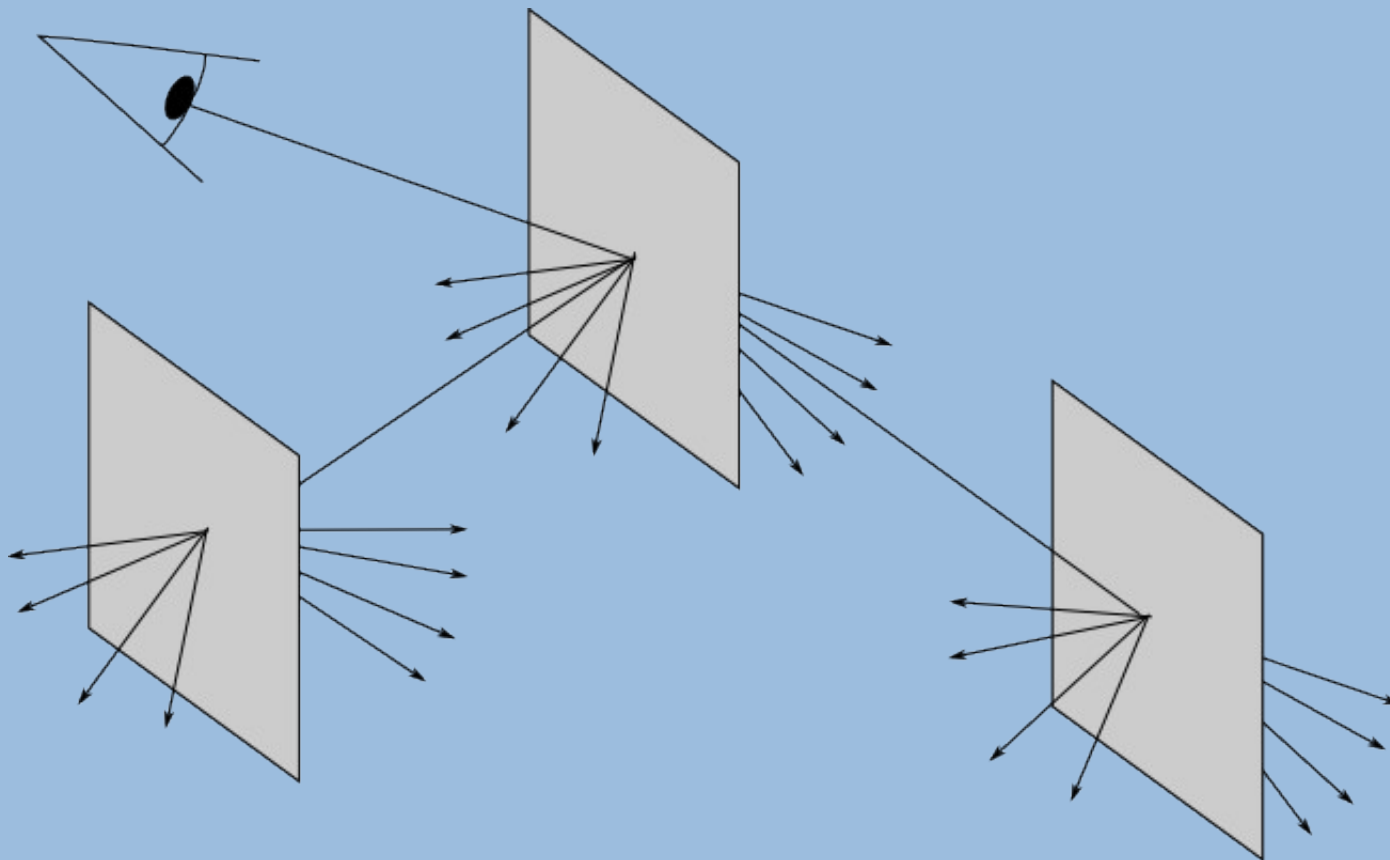
Grundprinzip (Transmission)

- > Brechungsgesetz von Snellius
— $n_1 * \sin(\theta_i) = n_2 * \sin(\theta_t)$
- > n_1, n_2 = Brechungsindizes der Materialien
- > Analoges Prinzip der perfekten und verschwommenen Transmissionen wie bei der Reflexion



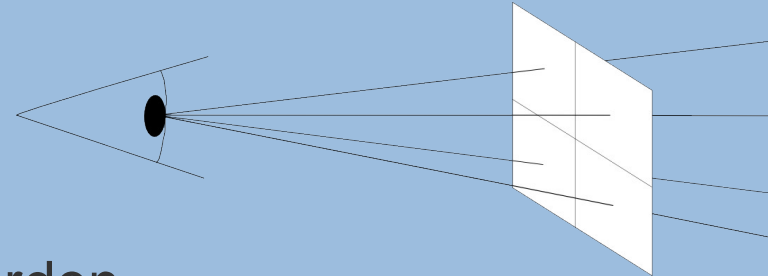
Grundprinzip (Reflexion & Transmission)

Stochastisches Ray Tracing mit Reflexionen und Transmissionen



Grundprinzip (Supersampling)

- > Supersampling wird verwendet um Aliasing-Effekte zu bekämpfen.
- > Anstelle eines Strahles pro Pixel werden mehrere Strahlen pro Pixel verwendet (künstliche Erhöhung der Auflösung)
- > Zur Berechnung des Farbwertes werden alle Farbwerte der Strahlen, welche zum entsprechenden Pixel gehören, gemittelt.



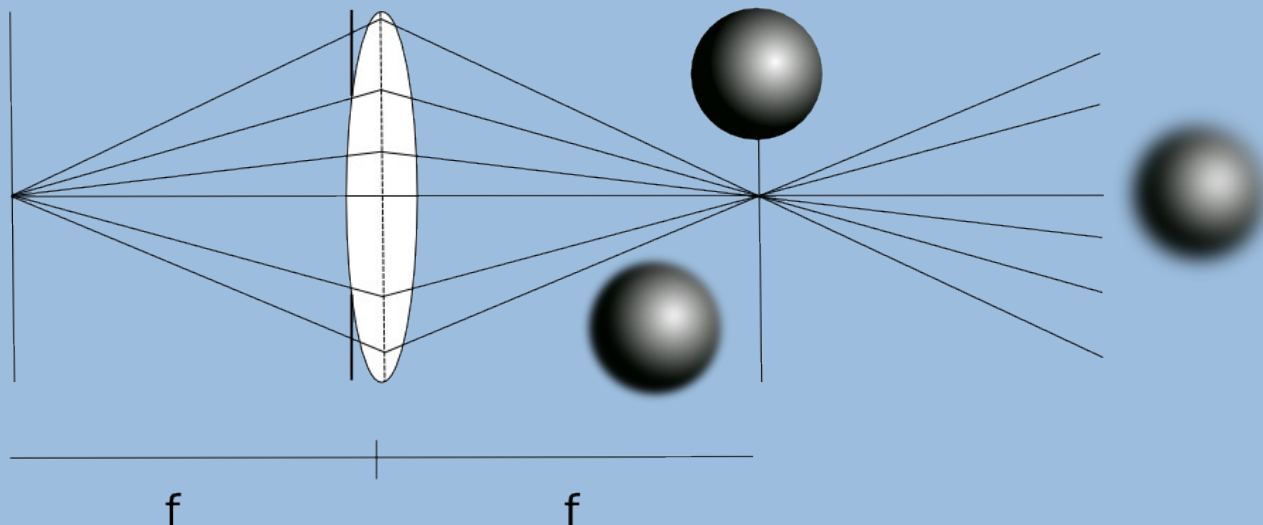
$$\frac{\text{white} + \text{white} + \text{yellow} + \text{brown}}{4} = \text{yellowish}$$

wikipedia.de

Grundprinzip (Depth of Field)

- > Die Tiefenschärfe wird durch die Blendenöffnung und die Brennweite bestimmt.
 - Blendenöffnung bestimmt wie gross der “Scharf”-Bereich ist (je kleiner die Öffnung, desto grösser der Bereich).
 - Brennweite bestimmt in welcher Entfernung zur Linse der “Scharf”-Bereich ist.

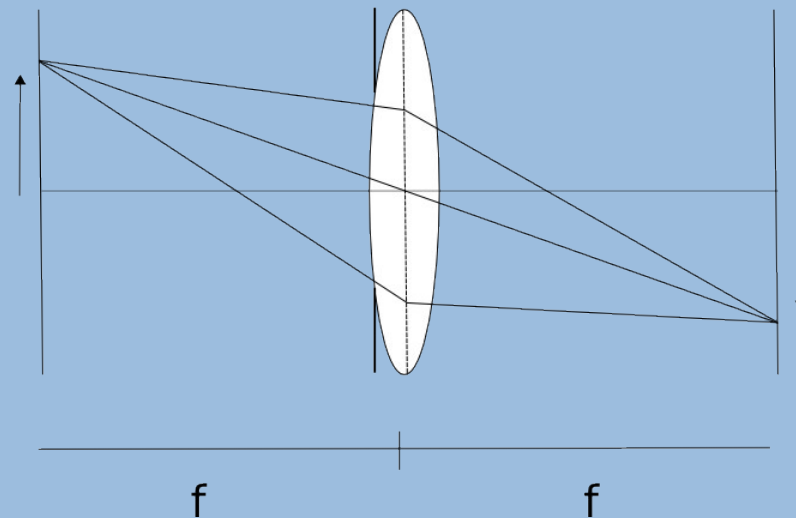
Image plane Diaphragm / Lens Focal plane



Grundprinzip (Depth of Field)

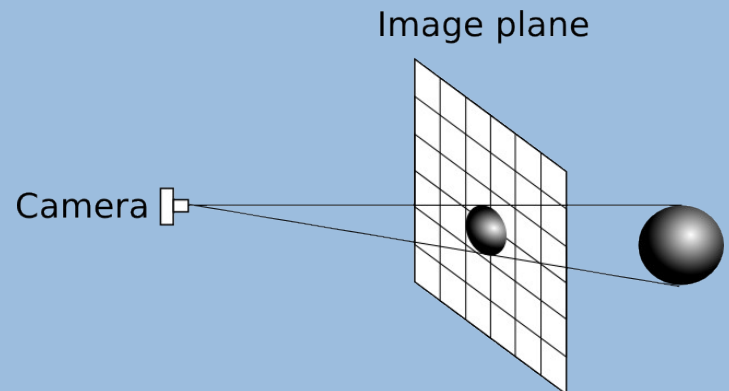
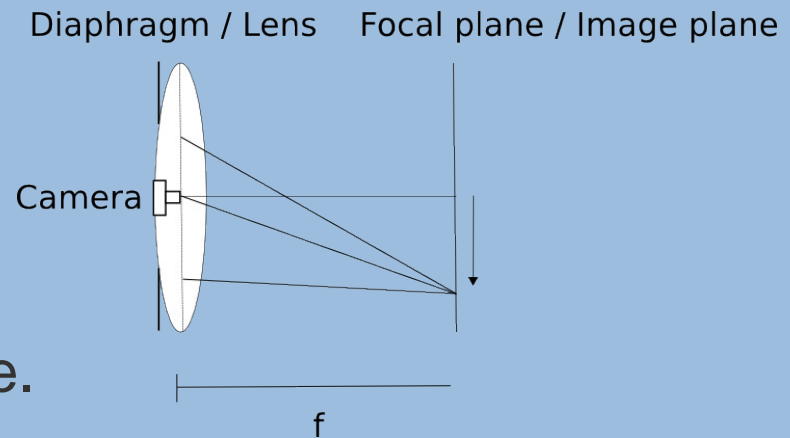
- > Problem:
 - Das Bild auf der Image Plane wird auf dem Kopf projiziert.
- > Alle Punkte die von einem Punkt auf der Image Plane ausgehen, enden in genau einem Punkt auf der Focal Plane.

Image plane Diaphragm / Lens Focal plane



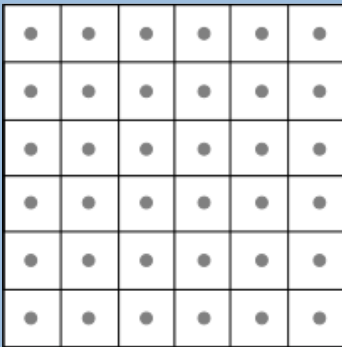
Grundprinzip (Depth of Field)

- > Lösung:
 - In Gedanken legt man die Image zwischen Focal Plane und Linse.
- > Die Kamera befindet sich immer noch am selben Ort wie ohne Linse. Es fällt auf, dass sich die zusätzlichen Strahlen nur im Ursprung unterscheiden. Also gilt es die Anfangspunkte in einem Kreis mit Radius wie die Blendenöffnung zu verteilen.
- > Auch hier werden die berechneten Farbwerte anschliessend gemittelt.

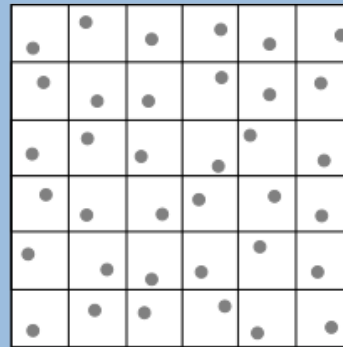


Verteilungstechniken

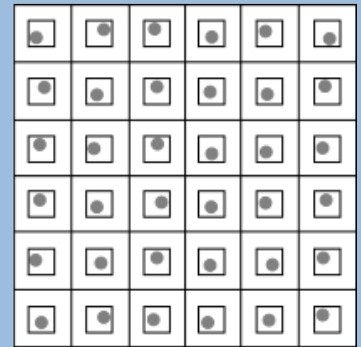
Grid



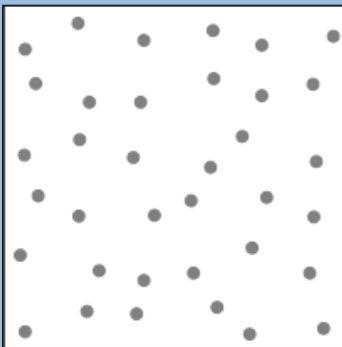
Jitter



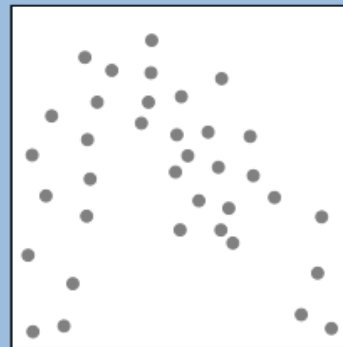
Semi Jitter



Poisson



Random



Implementation

- > Was wurde implementiert?
 - Transparenz mit Beer's Law und Snellius' Law
 - Unscharfe Reflexion
 - Lichtquellen (Halbschatten und mehrere Lichtquellen)
 - Supersampling
 - Depth of Field

- > Strahlenverteilung
 - 2 Grundalgorithmen für Randomverteilung
 - Jitter, Semijitter, Grid

- > Für alle Features ist die Verteilung frei wählbar, bis auf Supersampling und Depth of Field

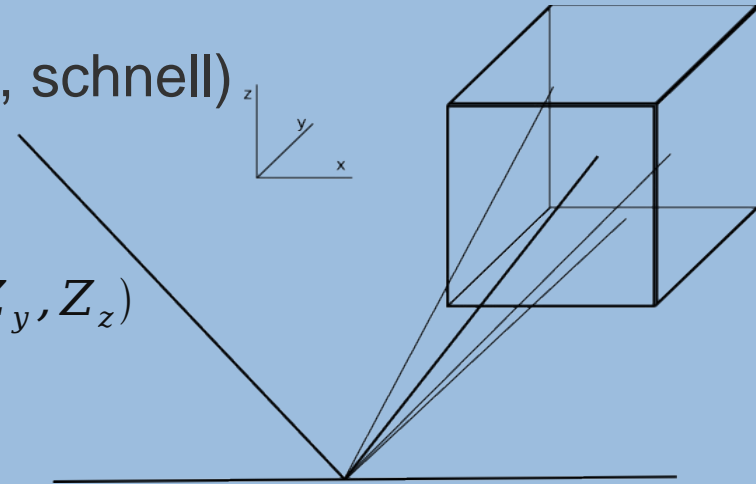
Implementation (Random Verteilung)

> Cube Random (nicht uniform verteilt, schnell)

— Zufallsvektor

$$(Z_x, Z_y, Z_z) \in [-Radius, Radius]^3$$

— $Zufallsstrahl = Originalstrahl + (Z_x, Z_y, Z_z)$



> Basis Random (uniform verteilt, langsam)

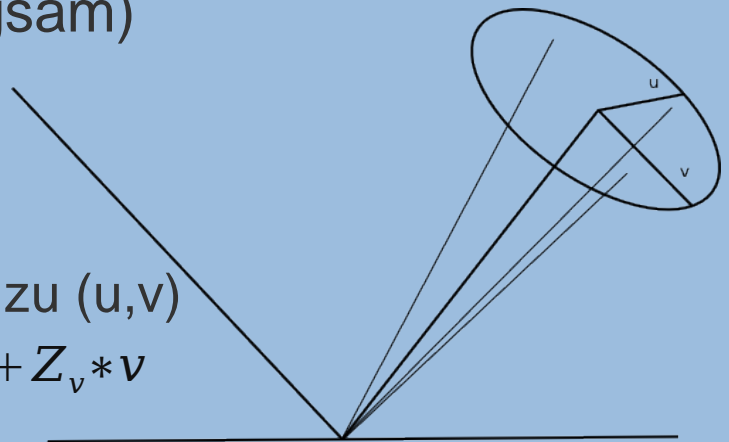
— Eine Basis $\{u, v\}$ berechnen

— Zufallszahlen

$$(rad, \phi) \in [0, Radius] \times [0, 360)$$

— (rad, ϕ) Umrechnung in Koordinaten zu (u, v)

— $Zufallsstrahl = Originalstrahl + Z_u * u + Z_v * v$

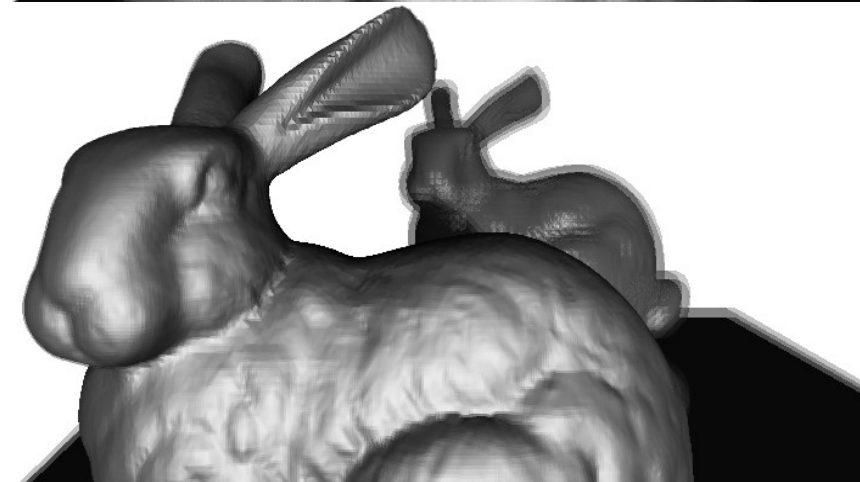
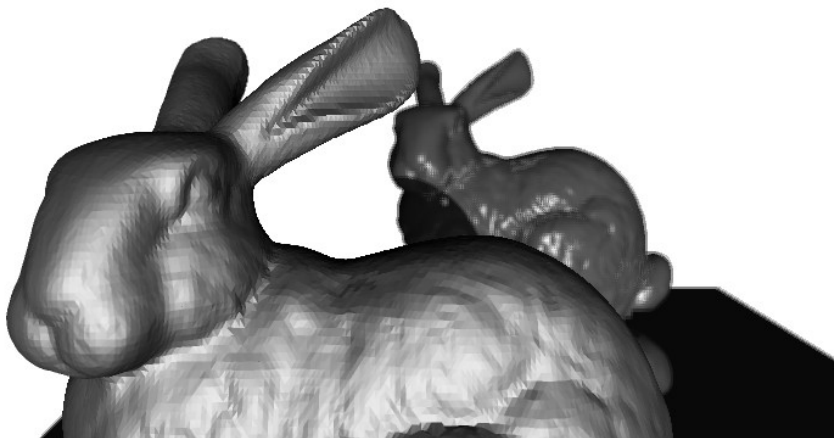
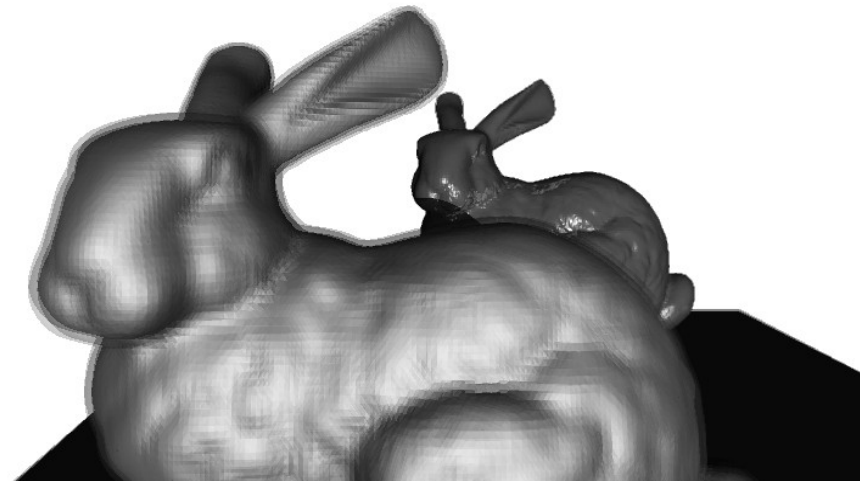
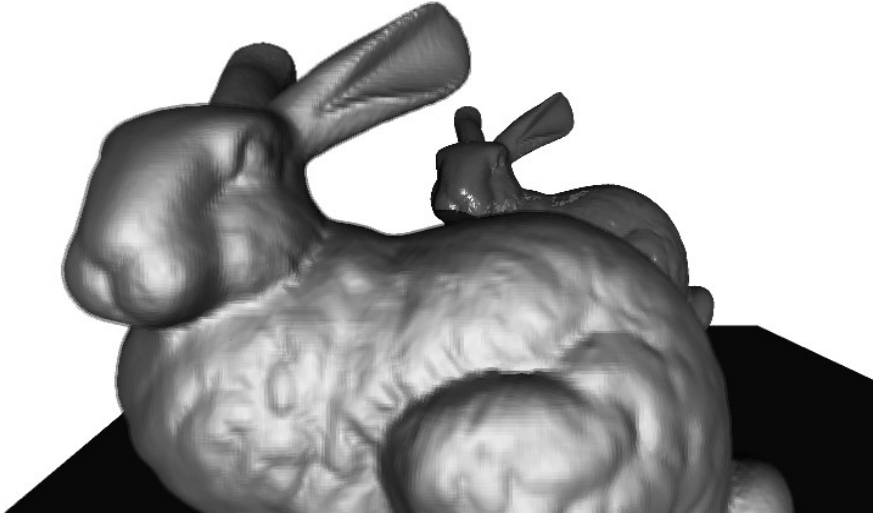


Implementation (weitere Verteilungen)

- > Für Grid, Jitter, Semijitter wurde Grundidee vom Basis Radom Algorithmus verwendet.

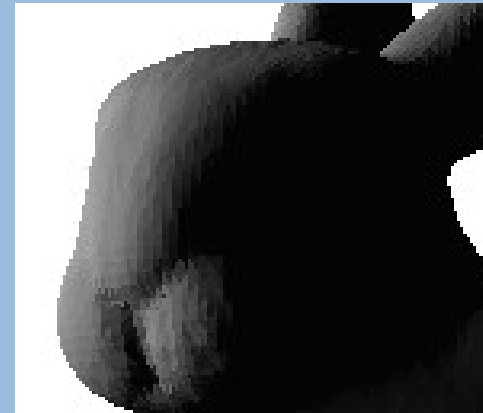
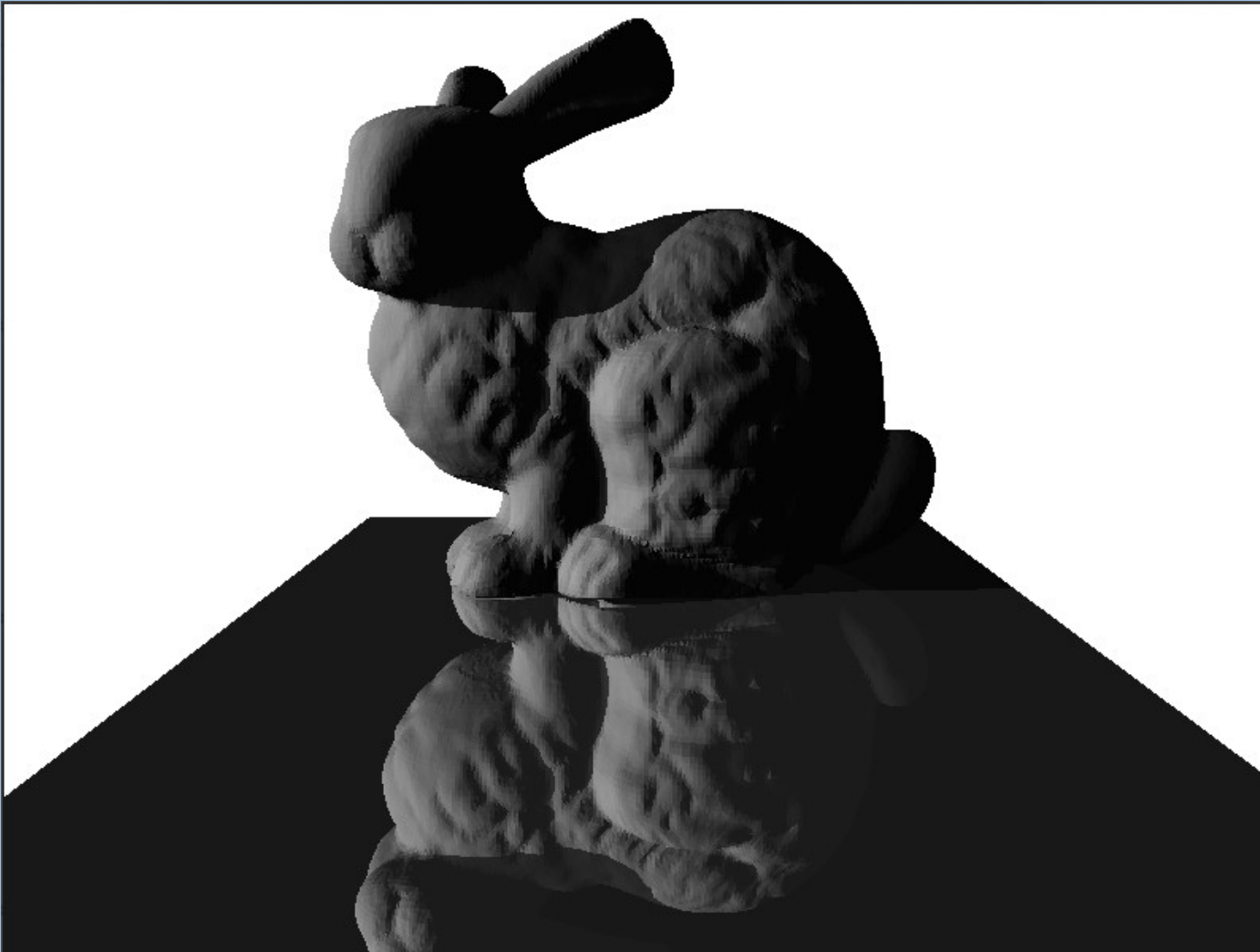
- > Prinzip:
 - Es wird zuerst eine Basis $\{u,v\}$ berechnet
 - Die Koordinaten in $\{u,v\}$ (Abhängig von der Verteilung)
 - Berechnung der neuen Strahlrichtung

Beispiele (Depth of Field)



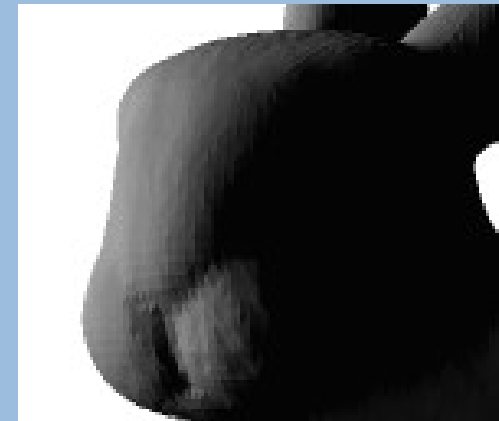
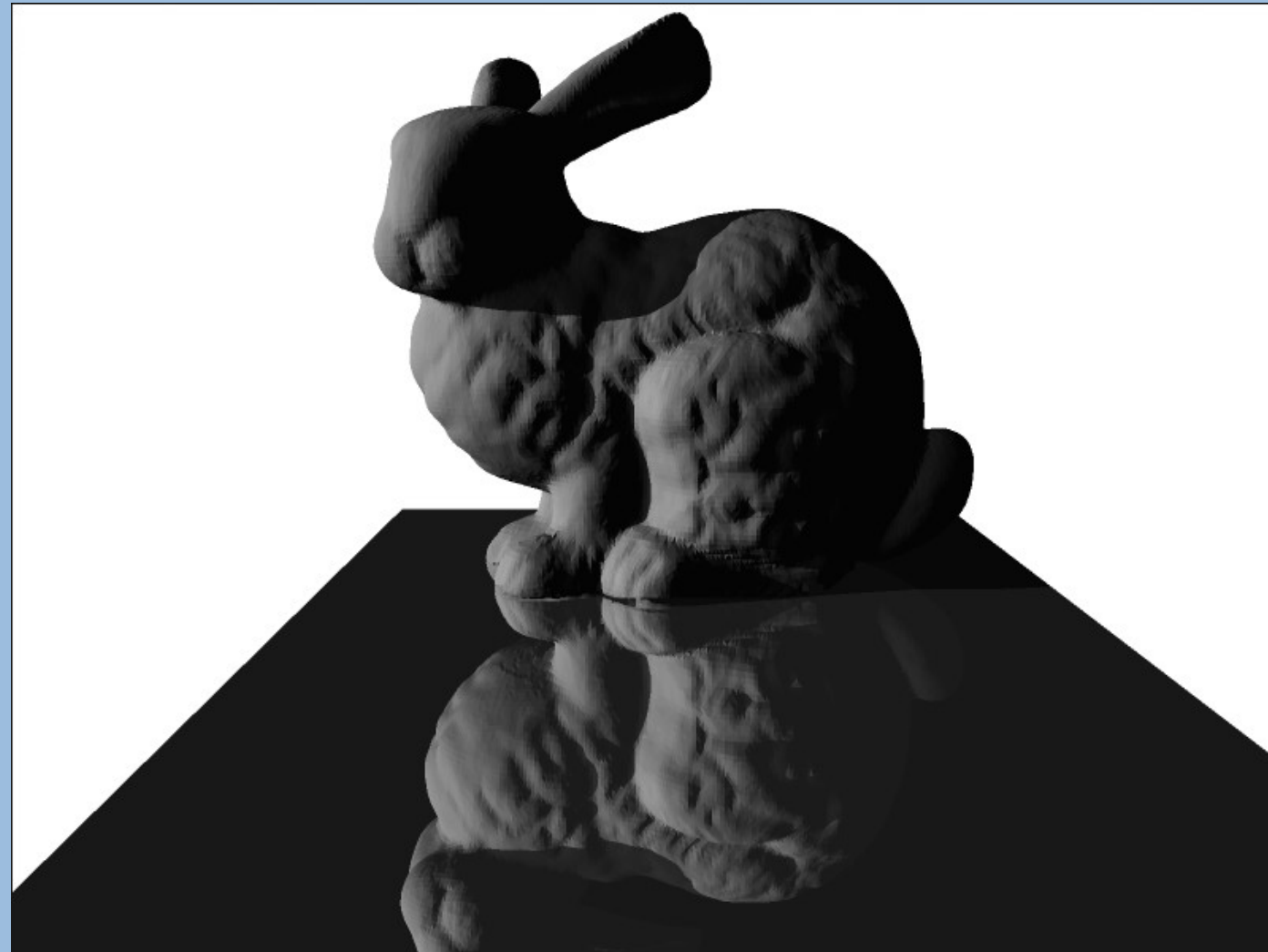
~ 4 Mio. Strahlen

Beispiel (Supersampling)



Kein Supersampling

Beispiel (Supersampling)

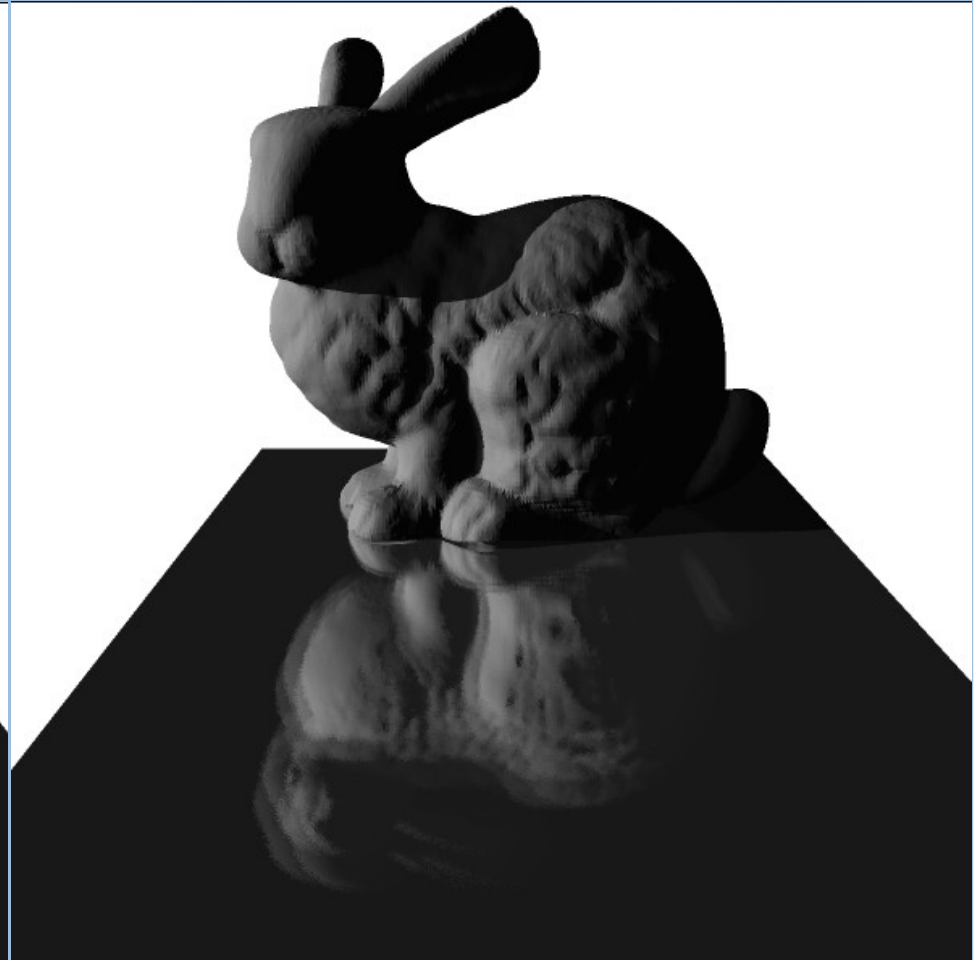


4x Supersampling

Beispiele (Reflexionen)



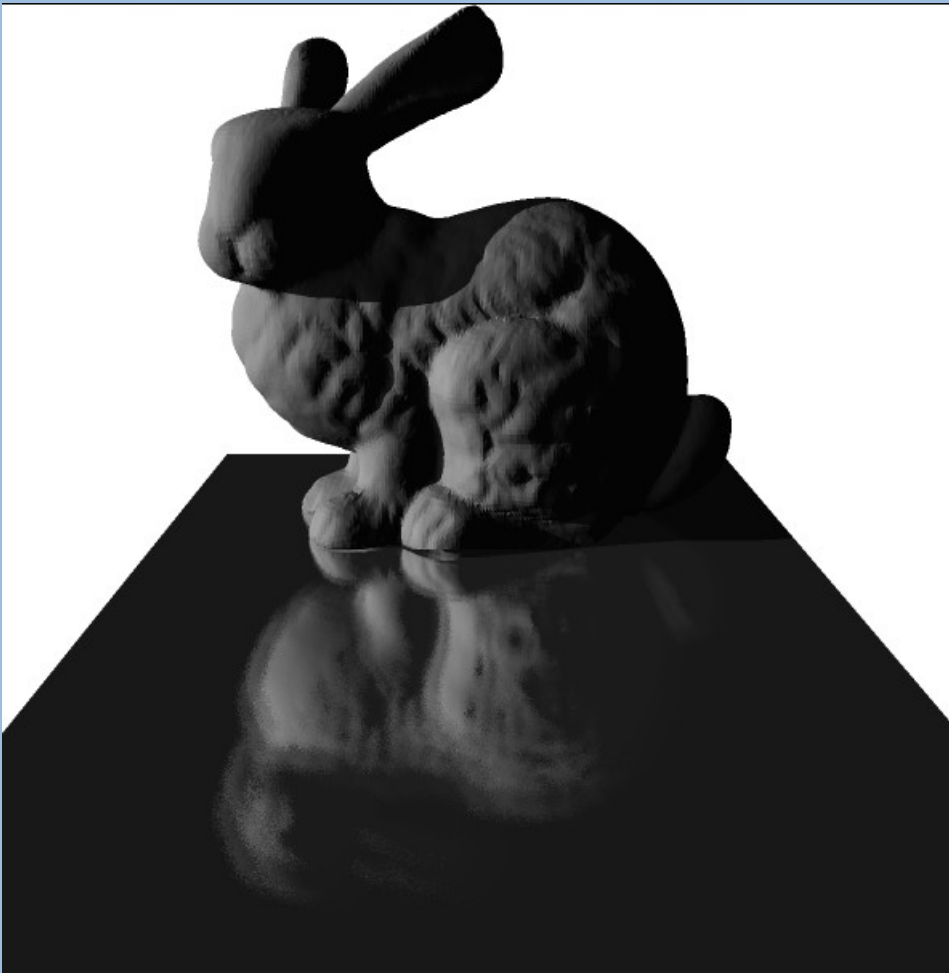
Grid, SS



Semi Jitter, SS

~ 6 Mio. Strahlen

Beispiele (Reflexionen)



Jitter, SS



Random (Basis), SS

Beispiel (Transmission)

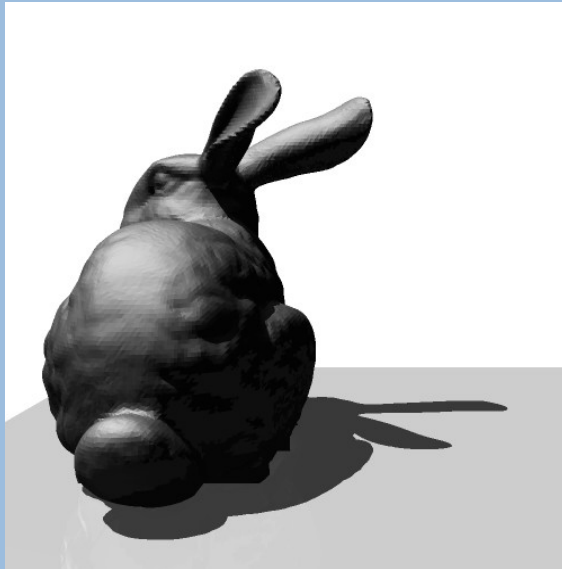


Transmission mit 1 Strahl, kein SS

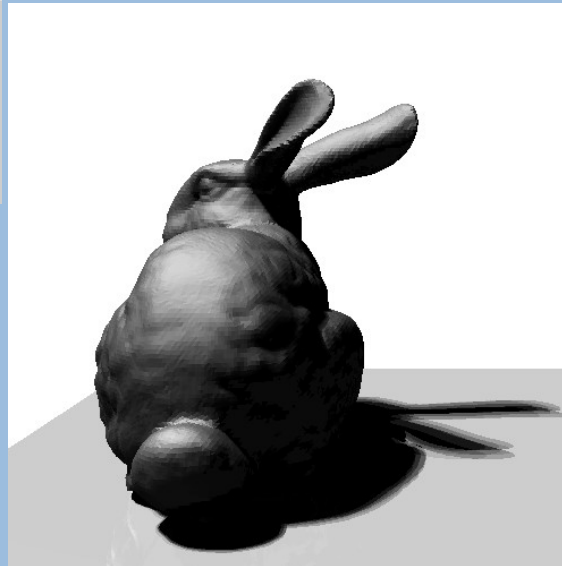
Transmission mit 4 Strahlen, kein SS



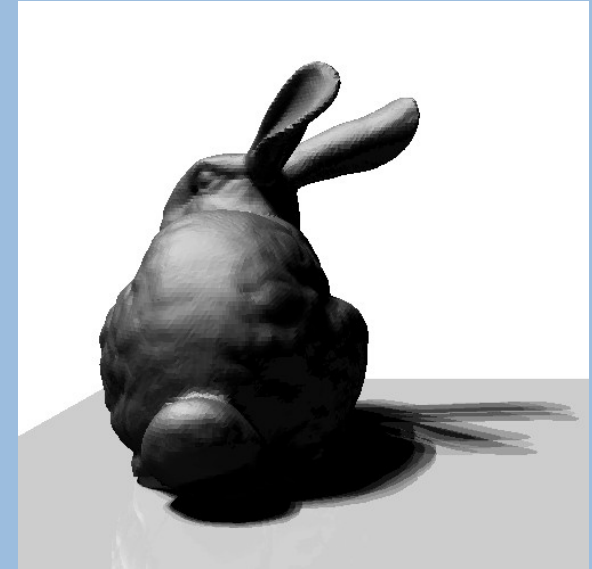
Beispiele (Schatten)



1 Schattenstrahl, SS
~ 4 Mio. Strahlen

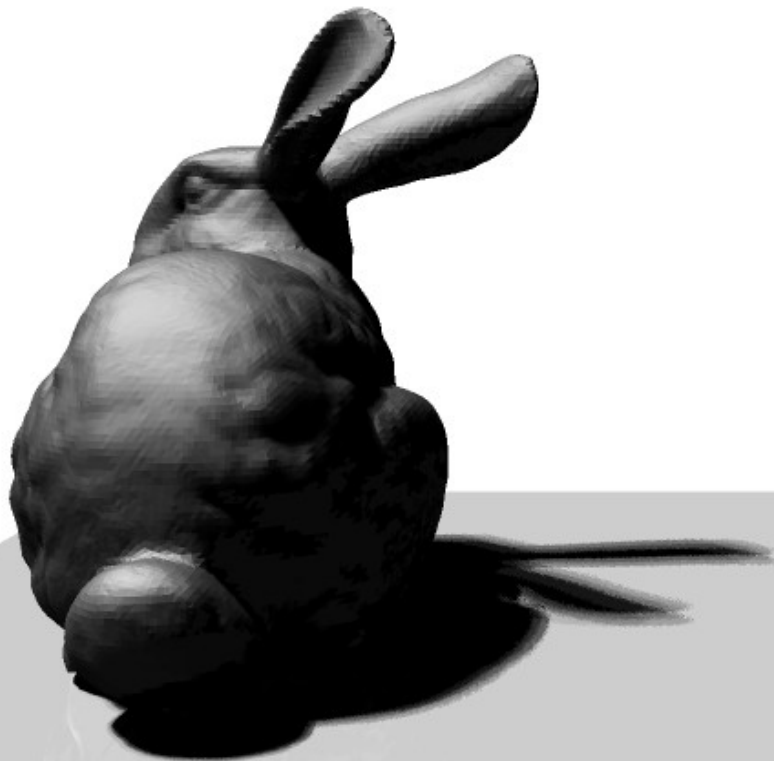


9 Schattenstrahlen (Grid), kein SS
~ 3 Mio. Strahlen

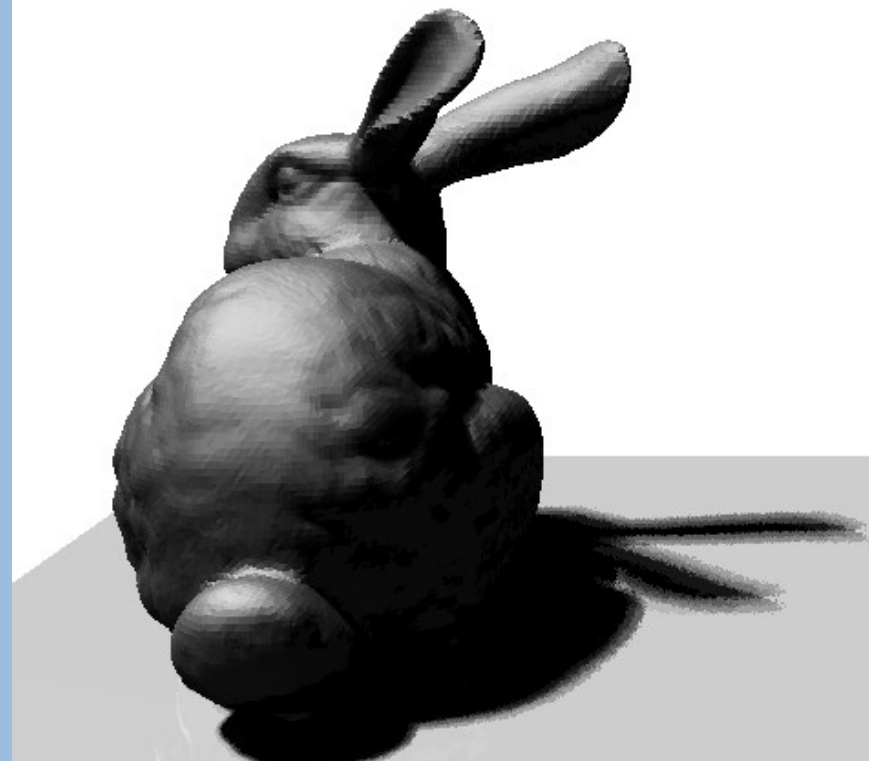


9 Schattenstrahlen (Grid), kein SS
~ 3 Mio. Strahlen

Beispiele (Schatten)

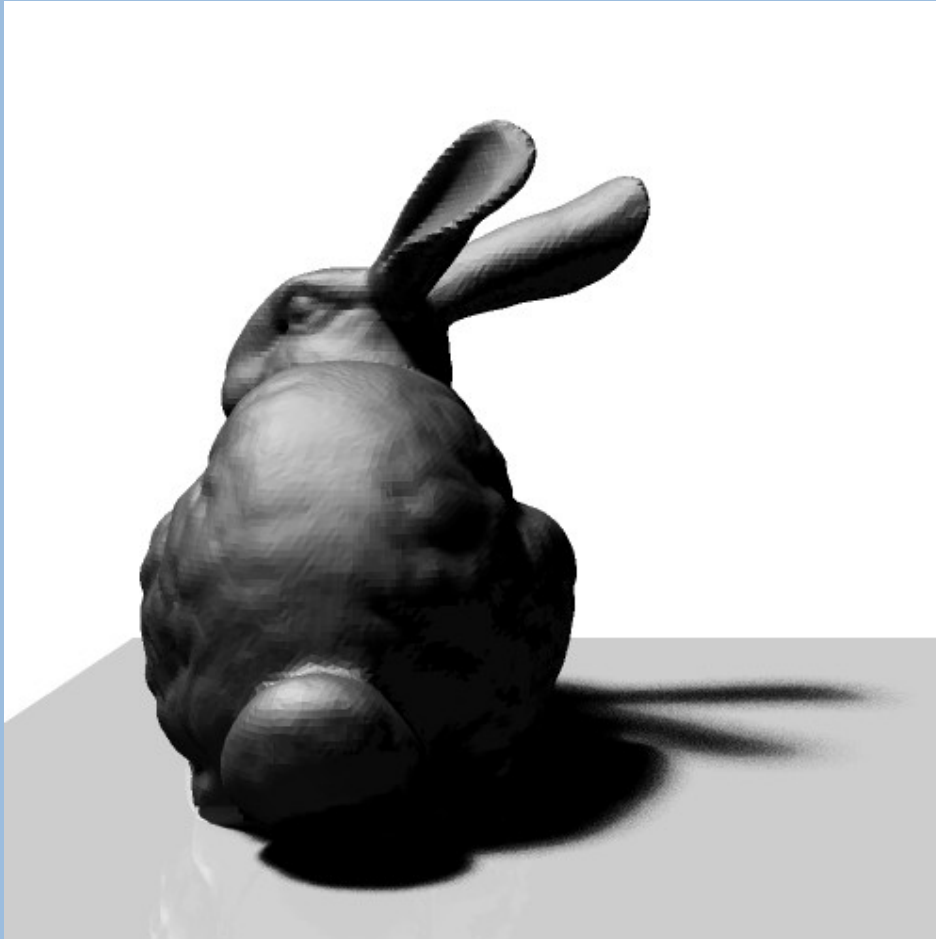


9 Schattenstrahlen (Jitter), SS
~ 10 Mio. Strahlen



9 Schattenstrahlen (Jitter), kein SS
~ 3 Mio. Strahlen

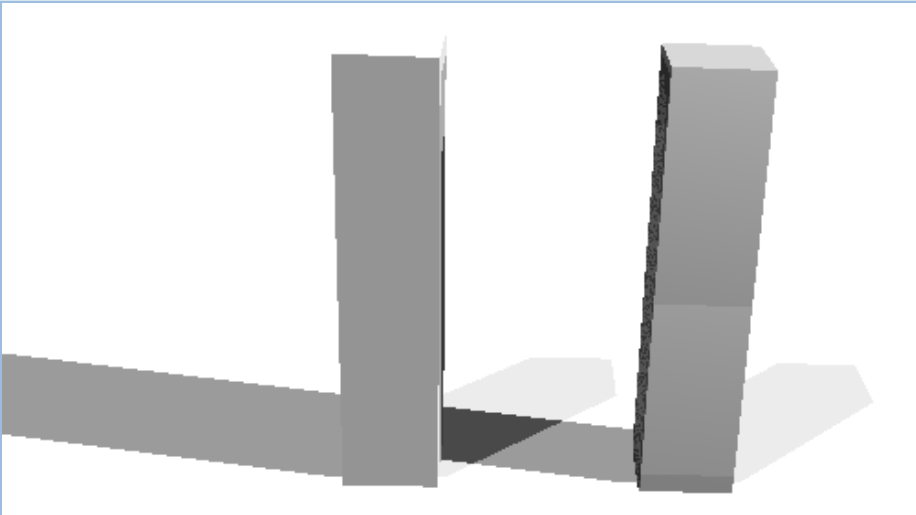
Beispiele (Schatten)



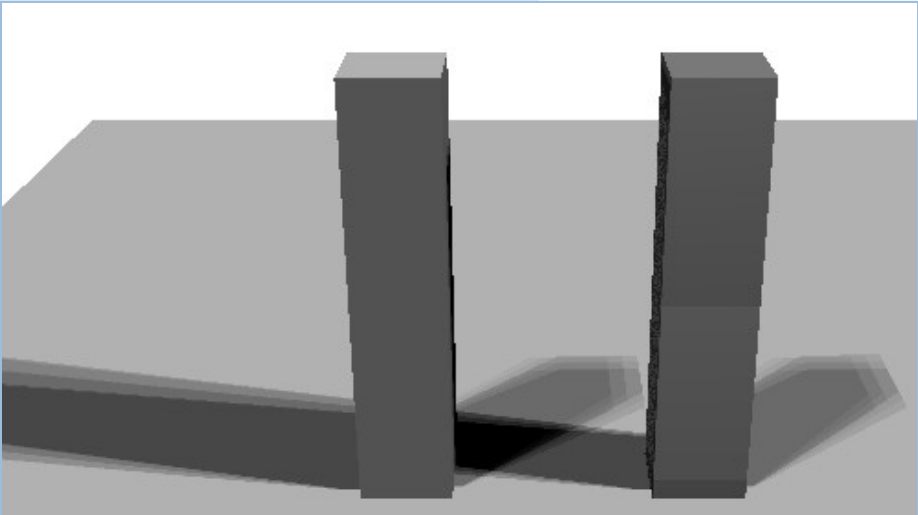
32 Schattenstrahlen
4x Supersampling
Basis Random

~36 mio Strahlen

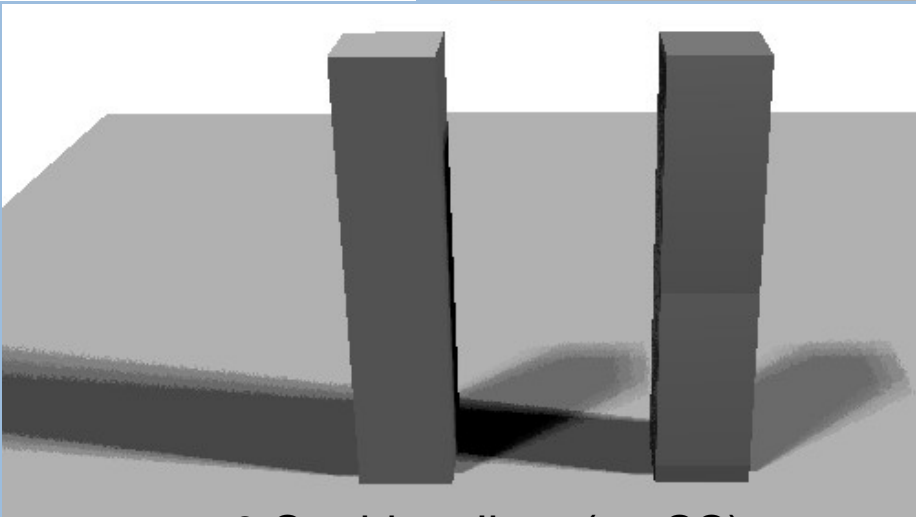
Beispiel (Schatten)



1 Strahlen (no SS)



9 Strahlen Grid (no SS)



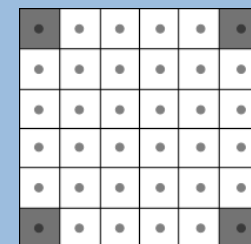
9 Strahlen Jitter (no SS)

Beschleunigungsverfahren

- > Hauptproblem beim SRT ist die hohe Berechnungszeit. Der Grund dafür ist die grosse Anzahl von Strahlen (einige Millionen) die es zu berechnen gilt.
- > Idee: Reduktion der Strahlen durch eine Metrik welche Abschätzt, ob zusätzliche Strahlen die Bildqualität noch verbessern oder nicht.

Beschleunigungsverfahren (Schatten)

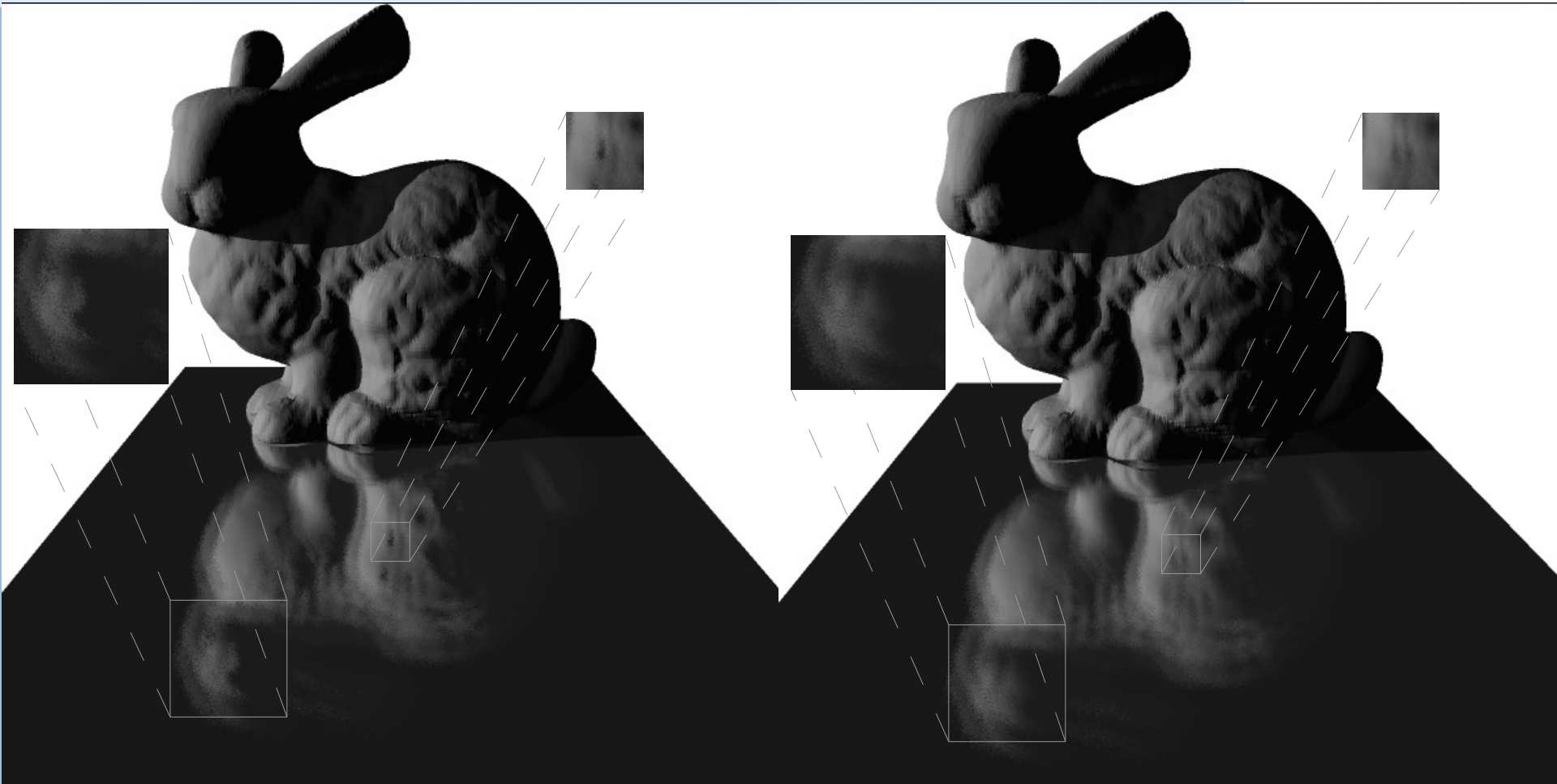
- > Prinzip: Es werden 4 Strahlen berechnet.
 - Wenn alle am Schatten bzw. belichtet sind, wird angenommen, dass die verbleibenden Strahlen auch noch am Schatten bzw. belichtet sind.
- > Kritik: Offensichtlich werden so Fehler gemacht.
- > Rechtfertigung: Die Fehler sind gering und im erzeugten Bild kaum sichtbar.
- > Qualitätssteigerung durch Berechnung der Strahlen den Extremalstellen.



Beschleunigungsverfahren (Reflexionen)

- > Prinzip: Anhand der Änderungsrate des Farbwertes wird entschieden, ob noch mehr Strahlen berechnet werden oder nicht.
 - Die Farbwerte ($\frac{(R+G+B)}{\{Anzahl\ Strahlen\}}$) werden von zwei aufeinanderfolgenden Strahlen verglichen
 - Ist die Differenz unter einem gewissen Schwellwert werden keine neuen Strahlen mehr berechnet
- > Kritik, Rechtfertigung und Qualitätssteigerungsidee wie bei den Schatten
- > **Fast alle bisherigen Beispiele wurden mit Metrik gerendert !!!**

Beispiele (Bildqualität)



Mit Metrik, (SS)

Ohne Metrik, (SS)

Beispiel (Performance)



Mit Metrik (SS)
Reflexionsstrahlen : 720'854
Schattenstrahlen: 629'427



Ohne Metrik (SS)
Reflexionsstrahlen : 810'880
Schattenstrahlen: 715'909

Was noch zu tun ist

- > Poissiondisk Verteilung
- > Beschleunigungstechniken
 - Auswertung der vorhandenen Metriken
 - Intelligente Strahlenauswahl für die vorhandenen Metriken
 - Bessere Metriken zu Strahlenreduktion
 - Metrik für Transmission, Depth of Field, evtl. Supersampling
- > Refactoring des Codes
- > Schreiben der Arbeit

Literaturliste

- > R. L. Cook, T. Porter, L Carpenter: *Distributed Ray Tracing*. Computer Graphics, Vol 18, Nr 3, pp. 137-145, New York, 1984
- > James T. Kajiya: *The rendering equation*. SIGGRAPH '86: Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 143-150, New York, 1986
- > Computer Graphics: Image Synthesis Techniques: <http://graphics.stanford.edu/courses/cs348b-01/> , 19.11.2007
- > P. Shirley: *Realistic Ray Tracing*. A K Peters LTD, Natick, 2000

Fragen

Fragen?