

COMPUTER GRAPHIK

RAY TRACING

Prof. Dr. Elke Hergenröther

Wichtig! Inhalte der Veranstaltung sind urheberrechtlich geschützt. Weder die Folien noch das Vorlesungsvideo dürfen an unbeteiligte Dritte weitergegeben werden.

Der Unterschied zwischen Reflexions- und Beleuchtungsmodell

- Reflexion wird an einem Punkt im Modell berechnet. Zur Reflexionsberechnung wird nur der Lichteinfallsvektor, der Vektor in Richtung des Betrachters, die Normale und das Material berücksichtigt.
- Das Phong'sche Reflexionsmodell, BRDF oder BSSRDF sind Reflexionsmodelle.
- Im Beleuchtungsmodell wird die Geometrie der gesamten Szene berücksichtigt. Wichtig ist die räumliche Anordnung der Geometrien, die Verdeckungen, Abschattungen, Spiegelungen und transparente Durchblicke verursachen. Ray Tracing ist beispielsweise eine Beleuchtungsmodell.
- Man kann auch definieren, dass man im Beleuchtungsmodell die Umgebung nicht berücksichtigen möchte, dann spricht man vom lokalen Beleuchtungsmodell. Wird die Umgebung einberechnet, dann ist es, um den Gegensatz deutlich zu machen, ein globales Beleuchtungsmodell.

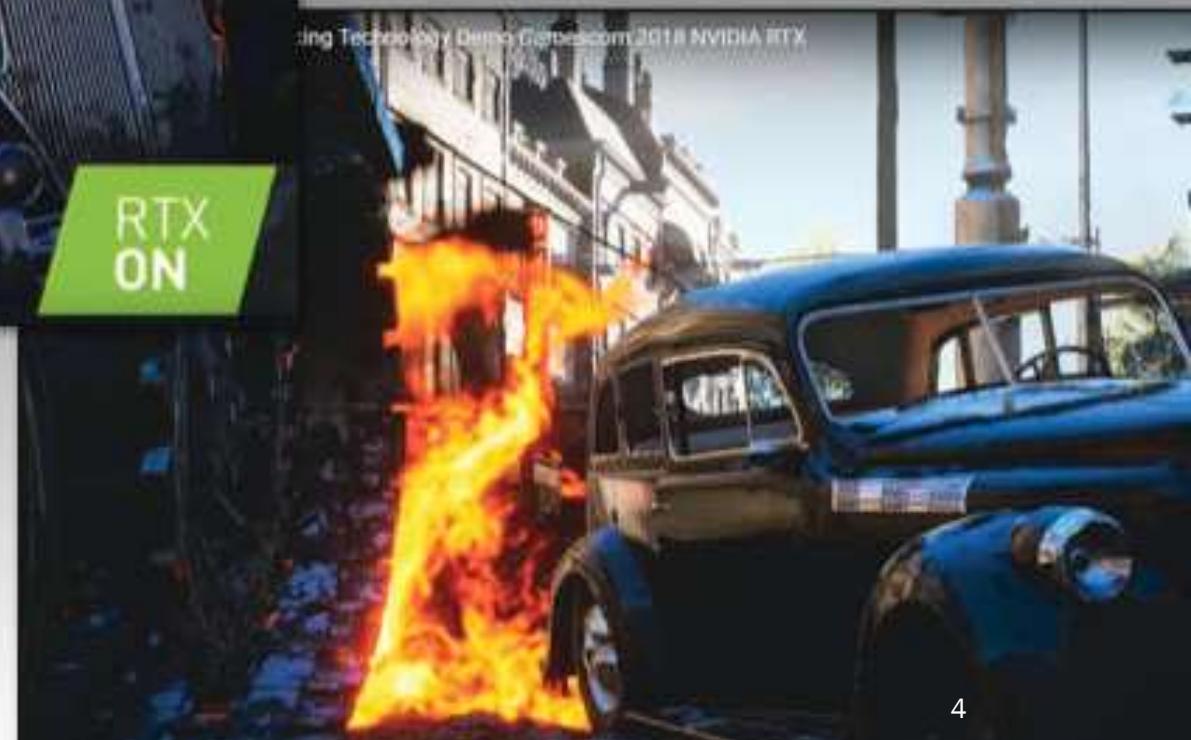
Beleuchtungsverfahren: Ray Tracing



Spiegelungen, Schatten und bei komplexeren Ray Tracingverfahren kann man auch Lichtbündelungen – sogenannte Kaustics sichtbar machen.

Bild: Tobias Geis

Raytracing - extrem interessant durch die RTX 20xx-Grafikkarten von Nvidia



© Nvidia / Screenshot & Montage: PC Magazin
Aus: <https://www.pc-magazin.de/ratgeber/raytracing-erklaert-was-ist-das-dlss-anforderungen-spiele-nvidia-3200141.html>



Drei geniale Filme von NVIDIA

- <https://www.youtube.com/watch?v=J3ue35ago3Y>
- <https://www.youtube.com/watch?v=pNmhJx8yPLk>
- <https://www.youtube.com/watch?v=b2WOjoOC-xE>

Bild von NVIDIA aus: <https://www.youtube.com/watch?v=pNmhJx8yPLk>

Aber auch in fachfremden Bereichen kann Raytracing genutzt werden

- Ausbreitung von Radioaktivität abhängig von der Strahlungsquelle und den verwendeten Materialien in der Umgebung
- G5/G6 oder WIFI –Strahlungsausbreitung /Empfang zu Visualisieren, auch abhängig von den Materialien in der Umgebung, da sich diese Wellen, sehr ähnlich zu Licht verhalten
- Im ersten Teil des Praktikums werden wir uns mit dem Raytracing beschäftigen.

VISUALIZATION OF THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES, ENHANCING EDUCATION AND SCIENCE COMMUNICATION

Marc Ferreira et. Al.

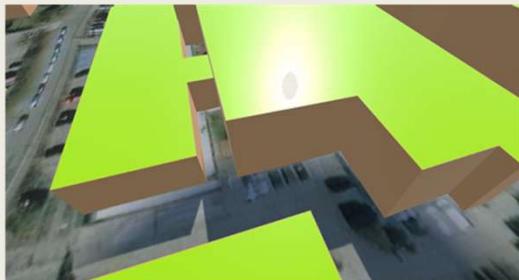


Figure 11. Showcase: Scene

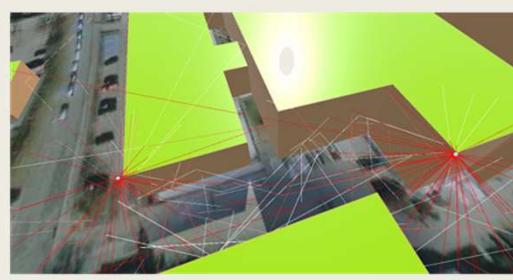


Figure 12. Showcase: 50 Rays per Ray-Caster

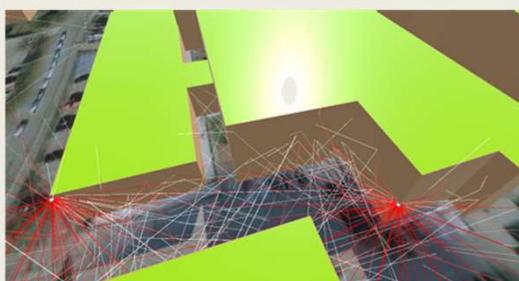


Figure 13. Showcase: 100 Rays per Ray-Caster

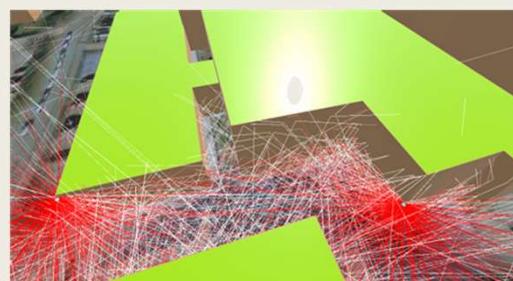


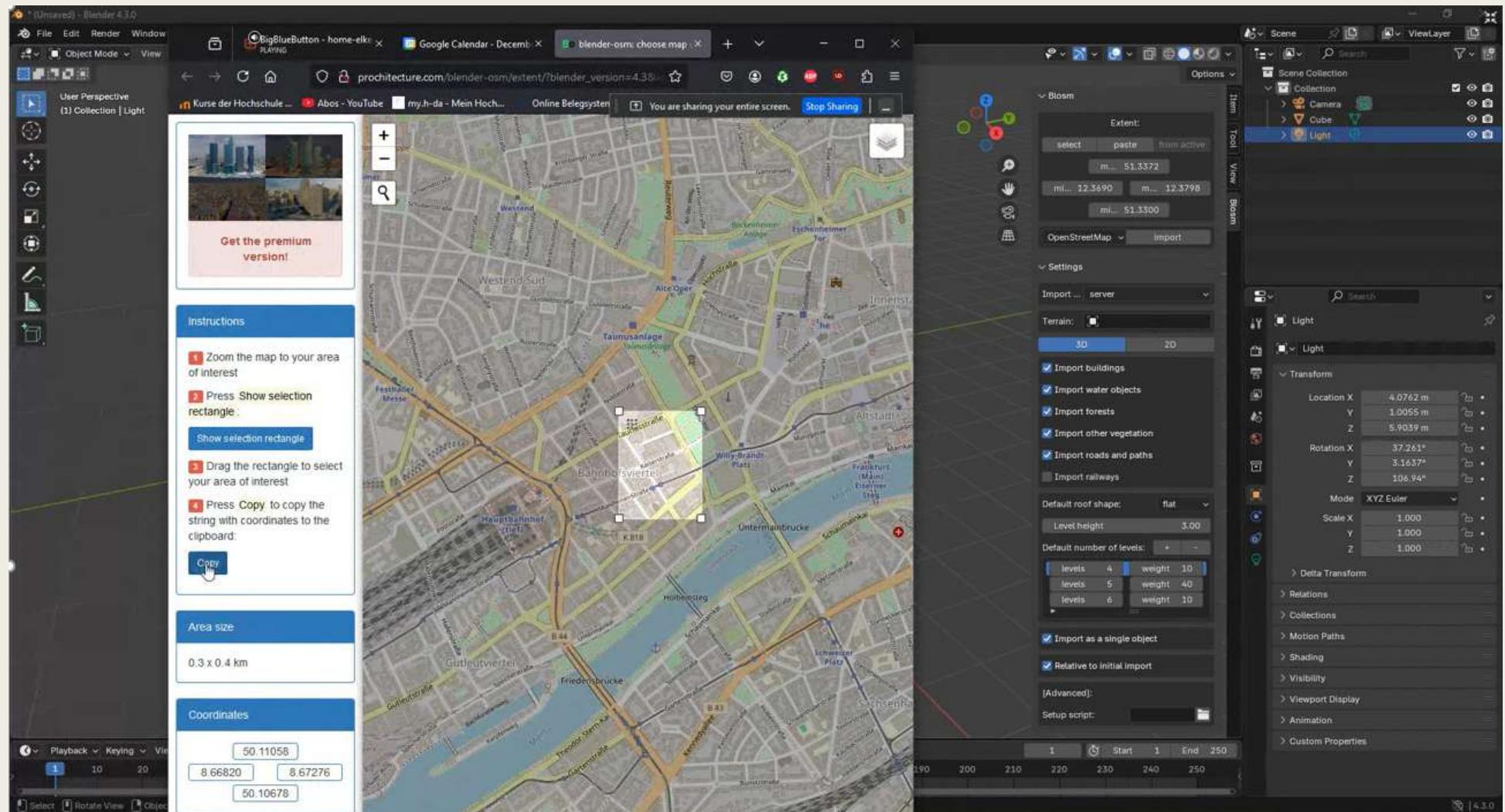
Figure 14. Showcase: 500 Rays per Ray-Caster

Prof. Dr. Elke Hergenröther

Präsentiert als Poster auf:

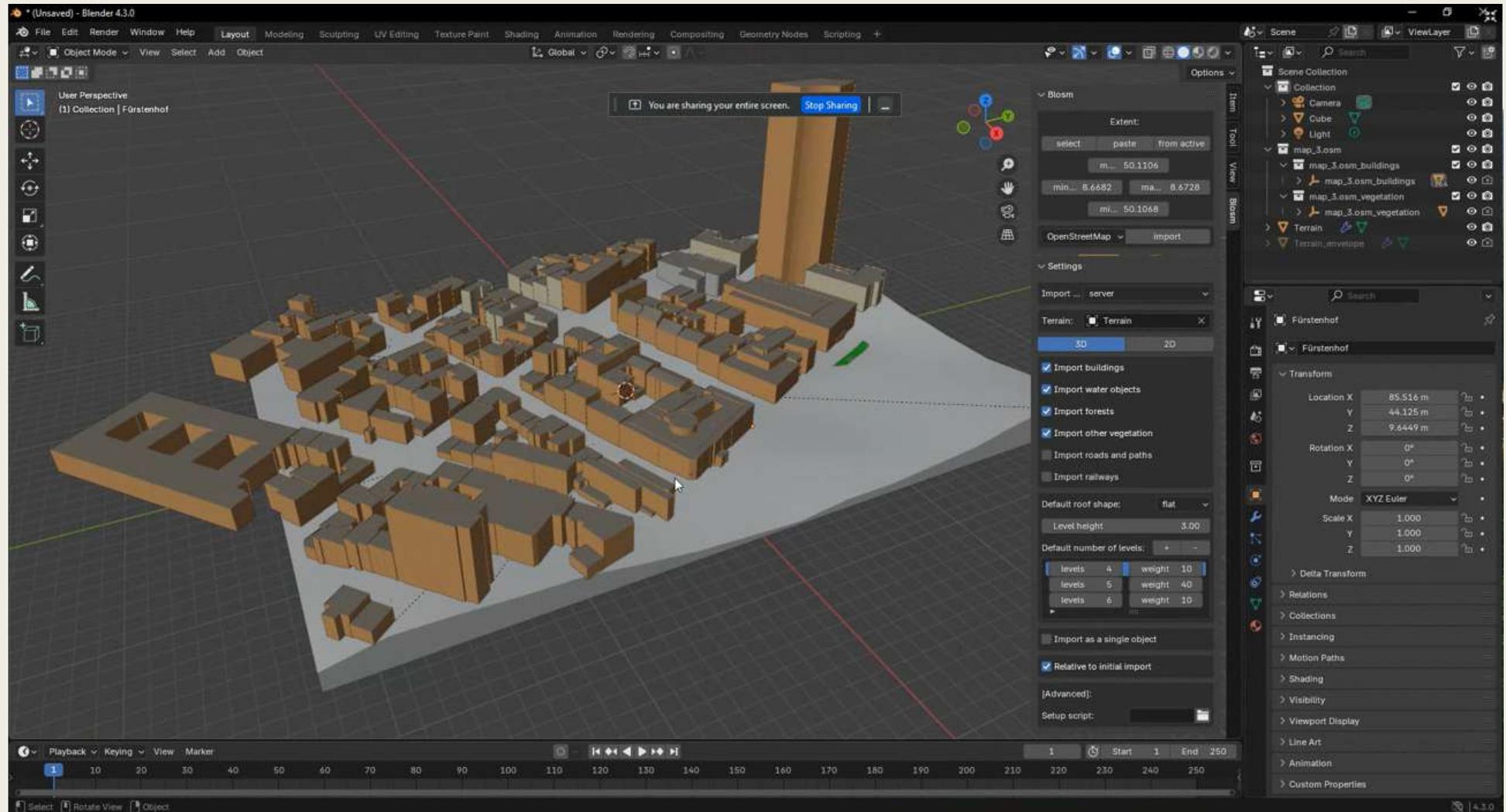
The poster for the 19th Multi Conference on Computer Science and Information Systems (MCCSIS 2025) in Lisbon, Portugal, from July 23-25. It features a purple background with a wavy pattern and the text "CALL FOR PAPERS". The conference name "MCCSIS 2025" is prominently displayed in large white letters. Other text includes "19th MULTI CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS", "LISBON, PORTUGAL 23 - 25 JULY", "INTERNATIONAL CONFERENCES PART OF THE MULTI CONFERENCE", and "ELDI 2025 e-Learning and Digital Learning 2025 GET 2025 Game and Entertainment Technologies 2025".

Ausschnitt aus OpenStreetMap

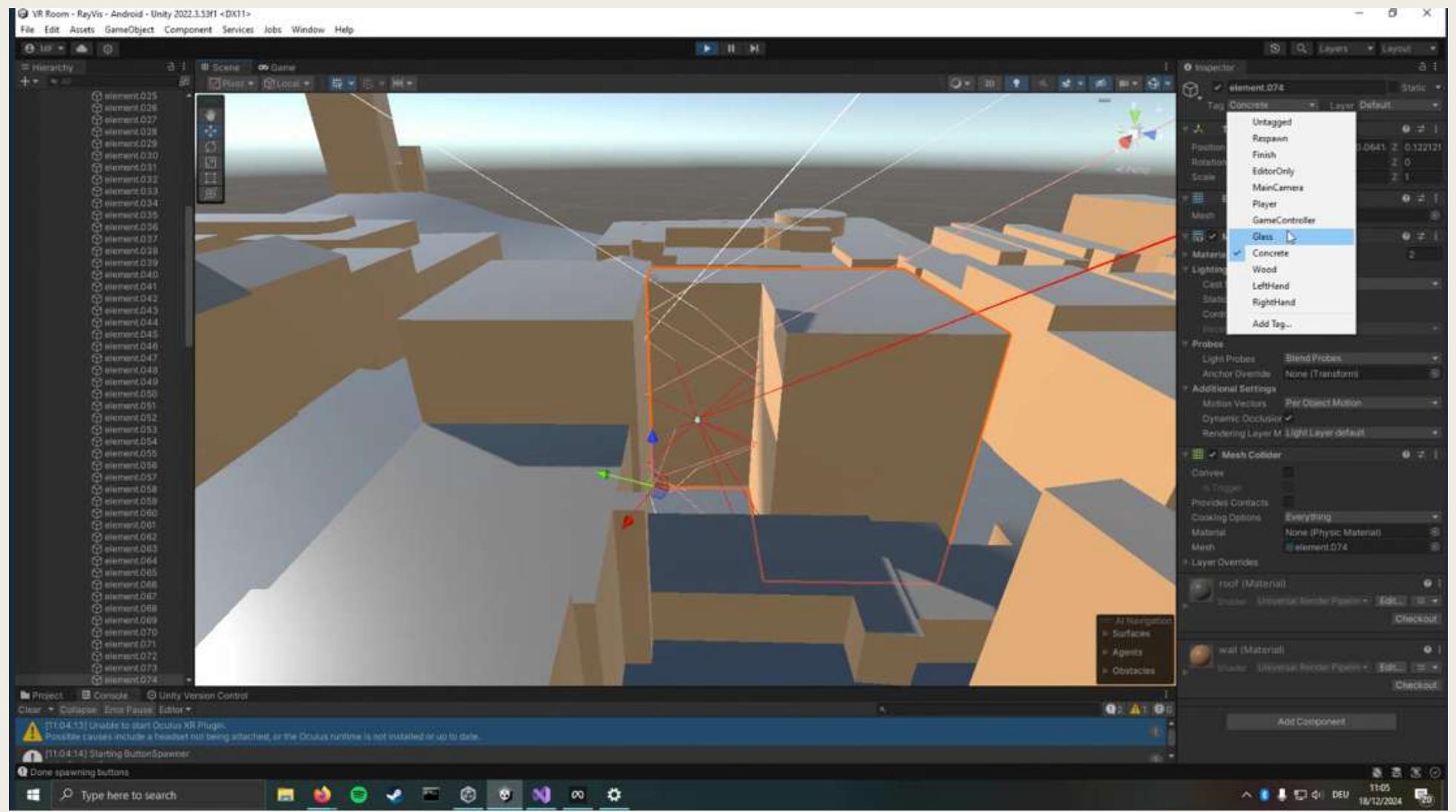


Prof. Dr. Elke Hergenröther - Bild von Mark Ferreira

Ausschnitt aus OpenStreetMap



Prof. Dr. Elke Hergenröther - Bild von Mark Ferreira



Unterschiedliche Materialien bewirken unterschiedliche Reflexionen

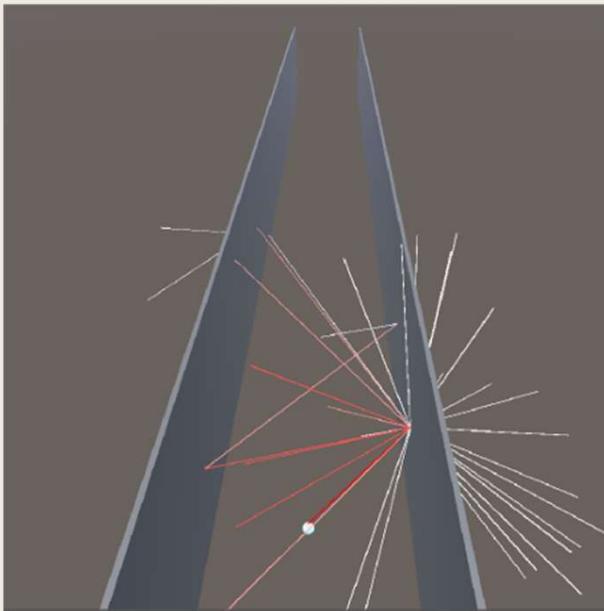


Figure 2. Showcase: 30 Rays on default material

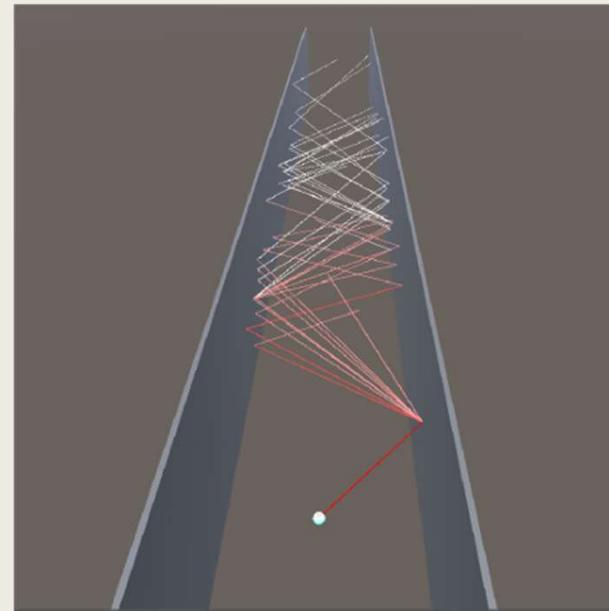


Figure 3. Showcase: 30 Rays on metallic material

VISUALIZATION OF THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES, ENHANCING EDUCATION AND SCIENCE COMMUNICATION
Marc Ferreira et. Al.

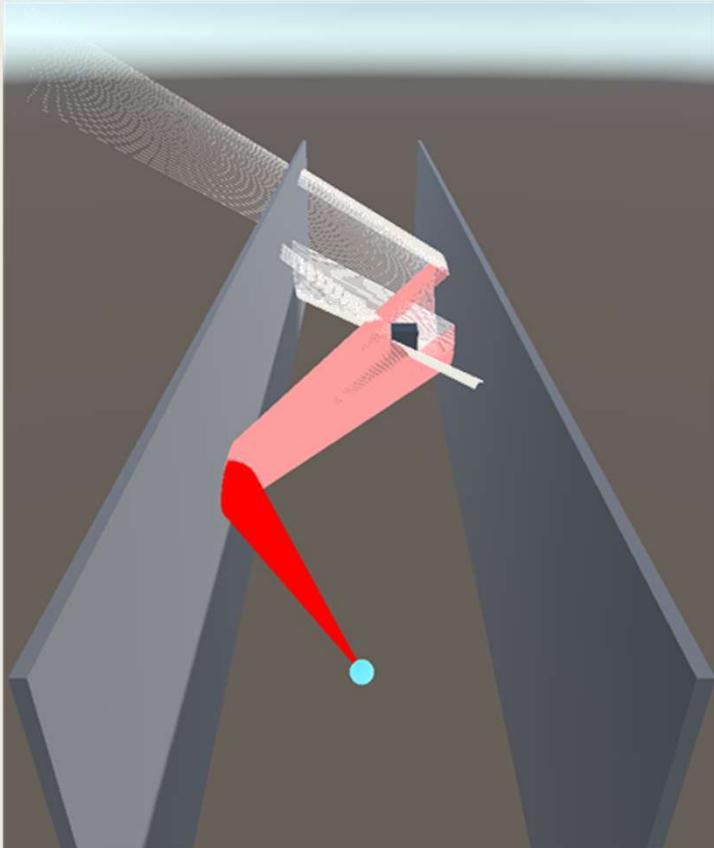


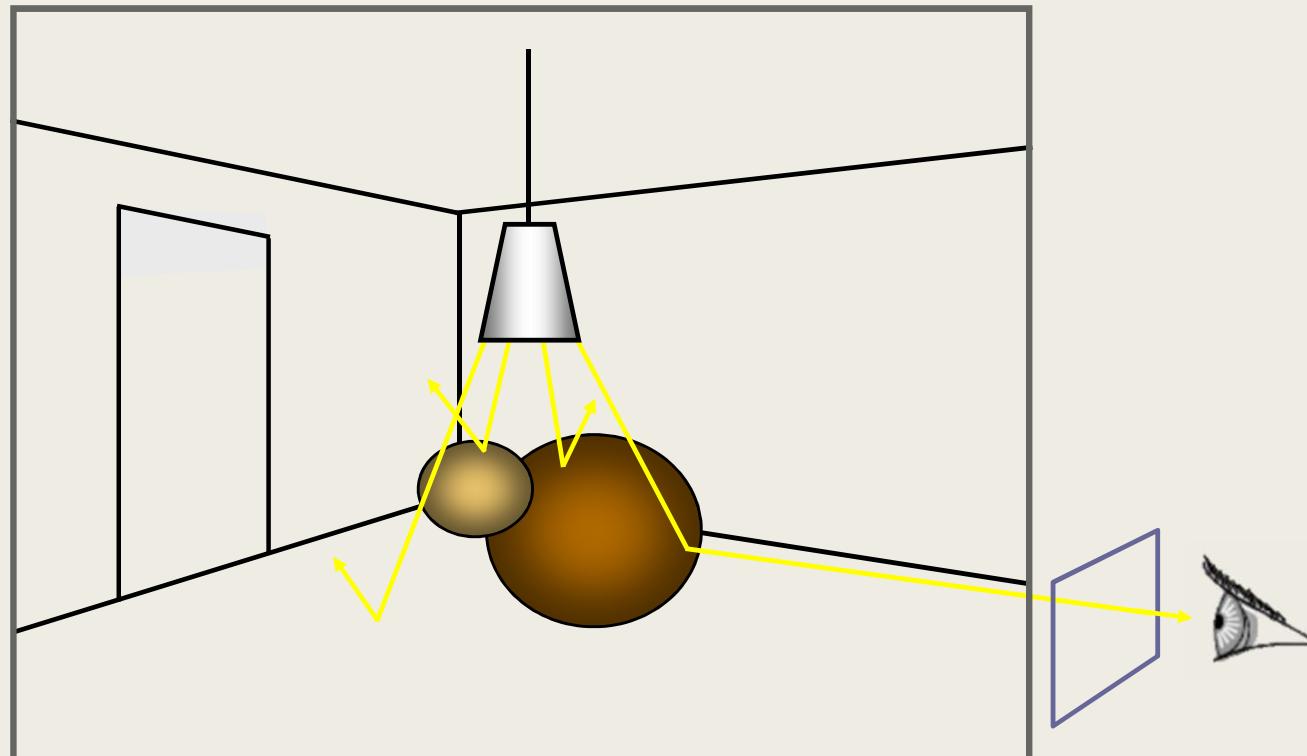
Figure 1. Cone-shaped emission

Eine Ansprechende
Visualisierung von
Strahlungsausbreitung ist
schwer ...

VISUALIZATION OF THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC
WAVES, ENHANCING EDUCATION AND SCIENCE COMMUNICATION
Marc Ferreira et. Al.

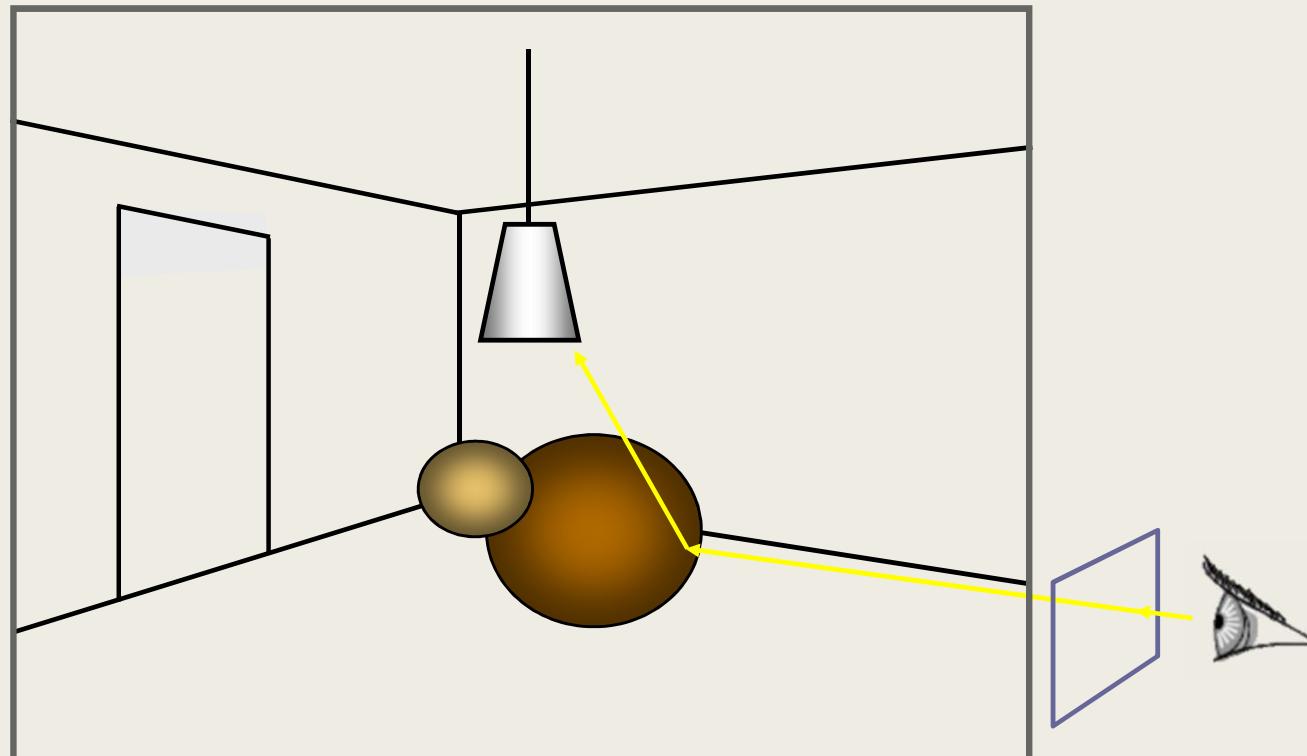
Ray Tracing Grundidee:

Verfolgung der Lichtstrahlen



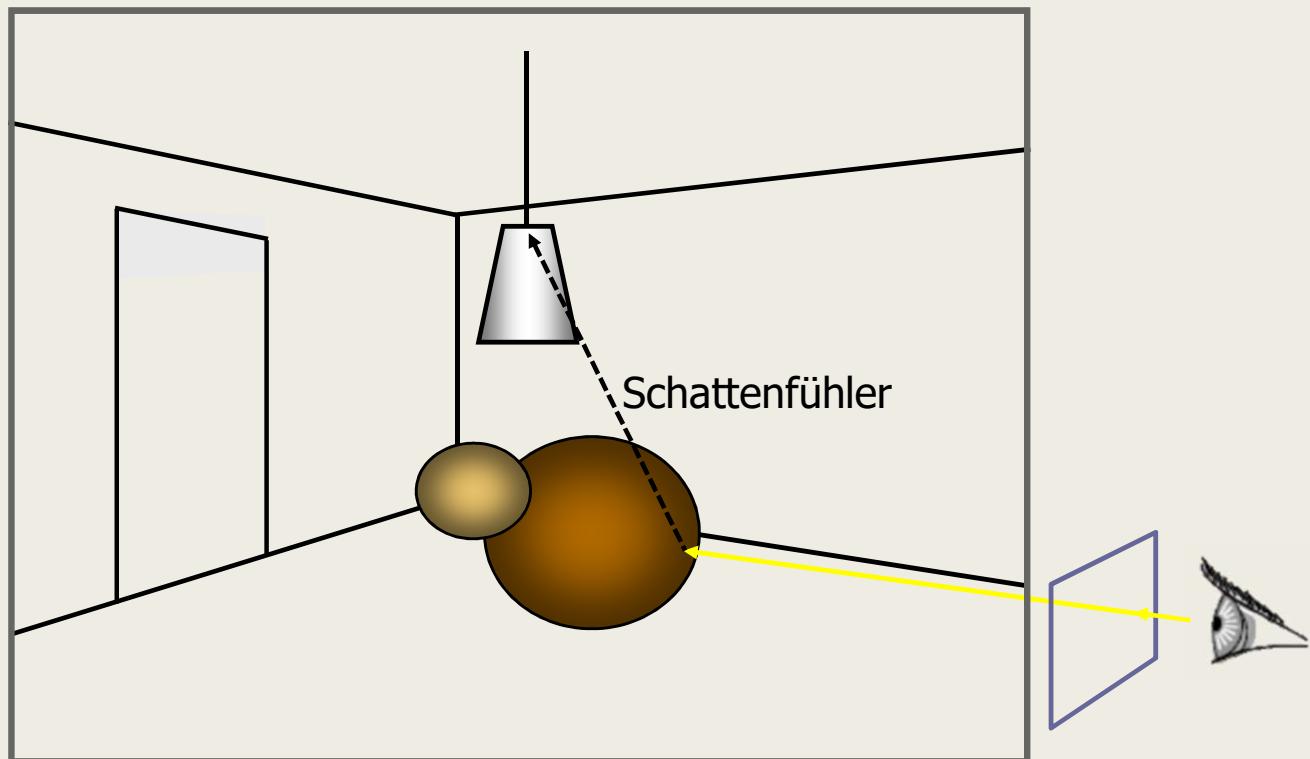
Ray Tracing Grundidee:

um die Beleuchtungsberechnung berechenbar zu machen, werden nicht die Lichtstrahlen sondern die „Sehstrahlen“ verfolgt.



Ray Tracing Grundidee:

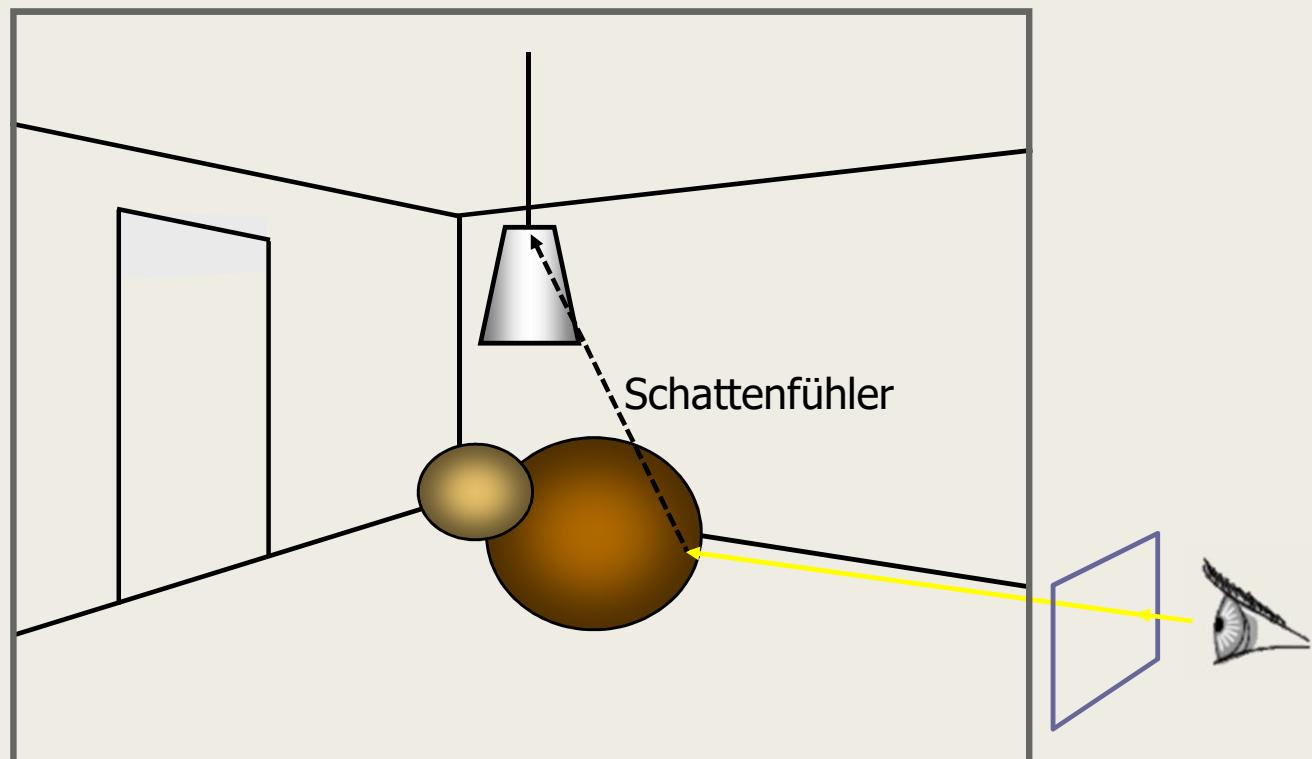
Verwendung von Schattenfühler, um überprüfen zu können, ob der Punkt, der auf den Pixel abgebildet wird, beleuchtet ist.



Ray Tracing Grundidee:

Verwendung von Schattenfühler, um überprüfen zu können, ob der Punkt, der auf den Pixel abgebildet wird, beleuchtet ist.

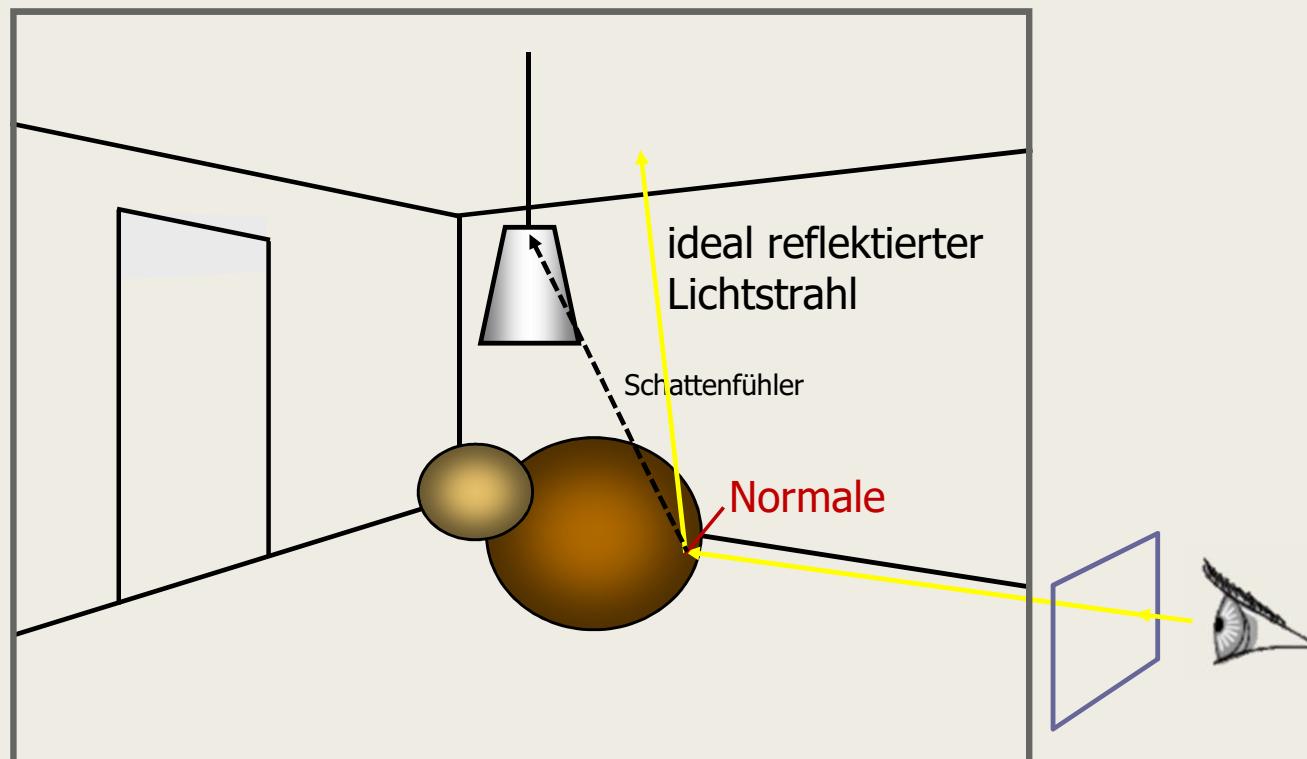
Trifft der Sehstrahl auf einer diffus reflektierenden Oberfläche auf wird der Sehstrahl nicht weiter verfolgt sondern bspw. mittels des Phong'schen Reflexionsmodells die Beleuchtung berechnet.

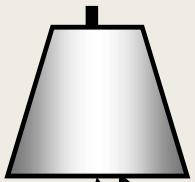


Ray Tracing Grundidee:

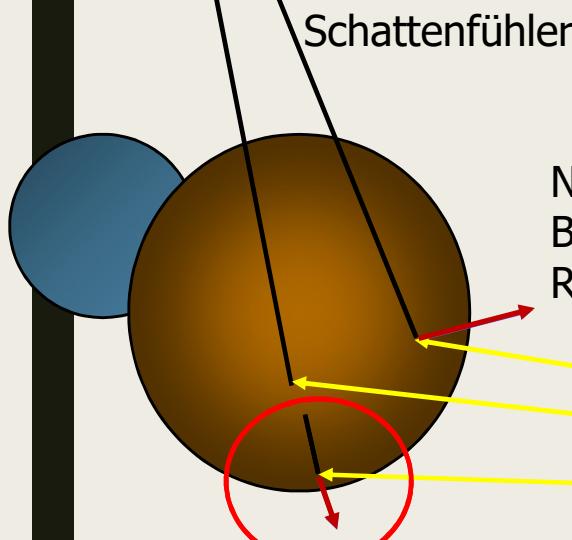
Verwendung von Schattenfühler, um überprüfen zu können, ob der Punkt, der auf den Pixel abgebildet wird, beleuchtet ist.

Trifft der Sehstrahl auf einer **spiegelnd reflektierenden** Oberfläche auf wird der Sehstrahl weiter verfolgt und zwar solange, bis er auf einer **diffusen** Oberfläche auftrifft.



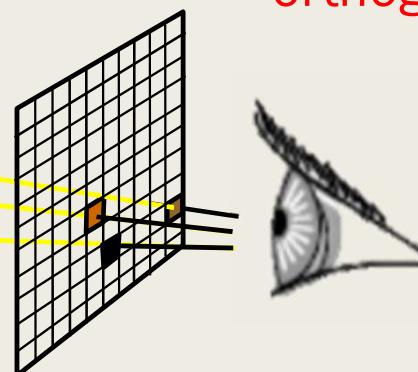


Ray Tracing Grundidee:



Schattenführer erreicht
keine Lichtquelle auf
direkten Weg

Normale wird zur
Berechnung der diffusen
Reflexion benötigt

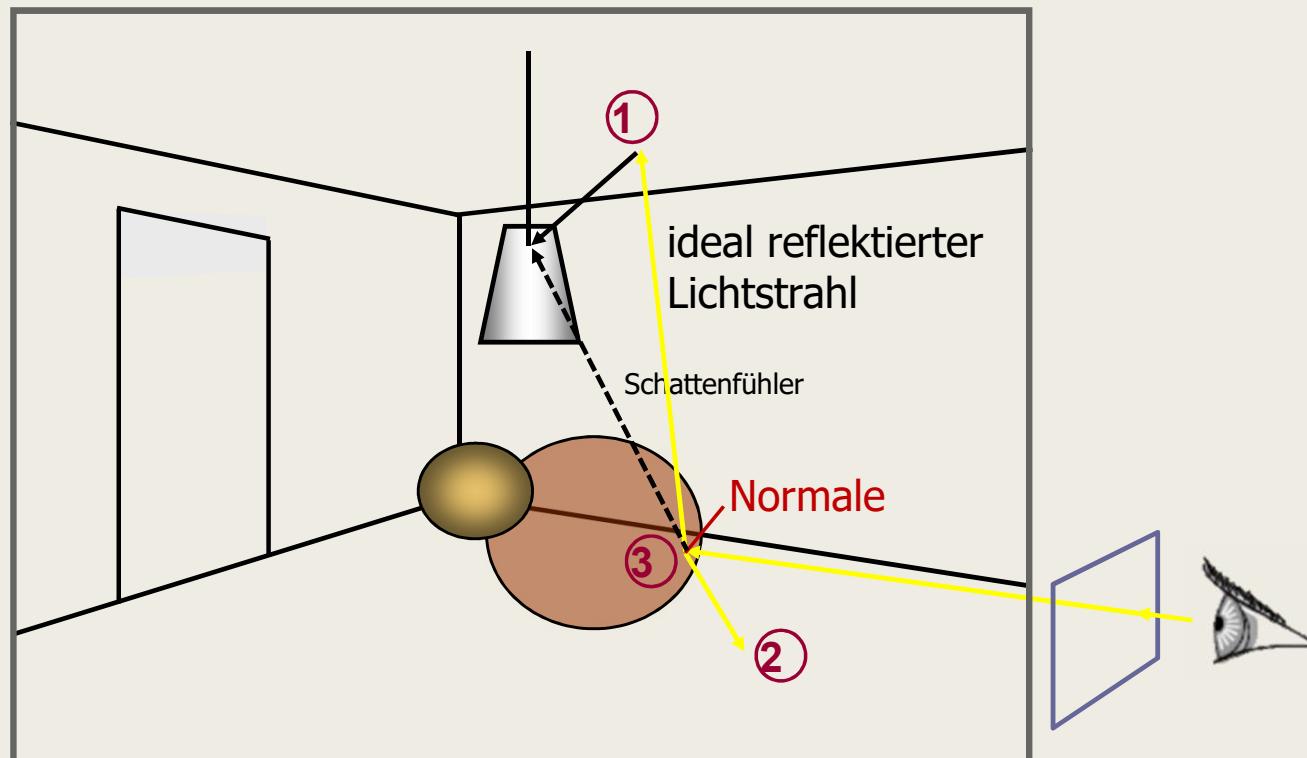


- Berechnung der diffusen Reflexion im Ray Tracing
- Verdeckungsberechnung
- Kann man mit Ray-Tracing auch die perspektivische und oder die orthogonale Projektion abbilden?

Ray Tracing Grundidee:

Verwendung von Schattenfühler, um überprüfen zu können, ob der Punkt, der auf den Pixel abgebildet wird, beleuchtet ist.

Berechnung der Reflexionen an Position
1 (diffus), 2 (spiegelnd transparent) und **3 (spiegelnd opak + diffus + 2 + 1)**. Die Kugel ist also teilweise diffus, spiegelnd und transparent. Die Decke und der Boden aber sind nur diffus reflektierend:



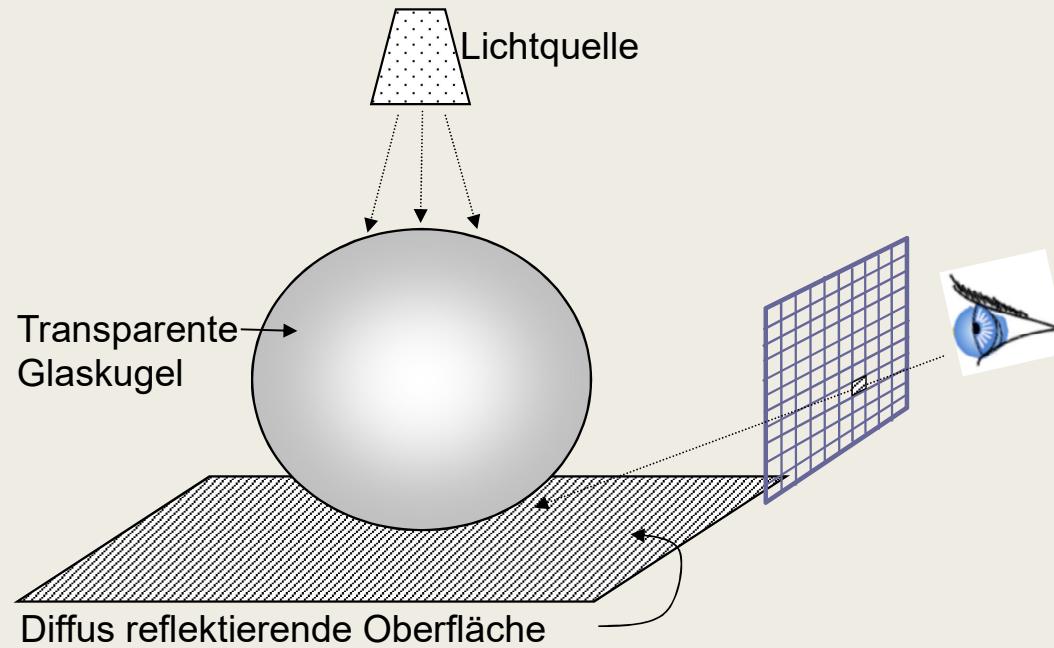
Einschränkungen des Ray Tracing Verfahrens

- keine weichen Schatten (Halbschatten)
- Keine indirekte diffuse Beleuchtung
- Keine “Kaustiks“ (engl. Caustics)



- Szene wird immer bezüglich eines Blickpunkts berechnet

Warum ist es in der unten dargestellten Situation nicht möglich mit dem klassischen Ray Tracing Verfahren Kaustiks zu berechnen?



Tipp fürs Praktikum: <https://www.scratchapixel.com/>

Lernen Sie Computergrafik von Grund auf neu!

"Eine der besten Anleitungen zum Farbmanagement auf Code-Ebene, die ich je gesehen habe, besonders online ... Ihr seid großartig !!!"

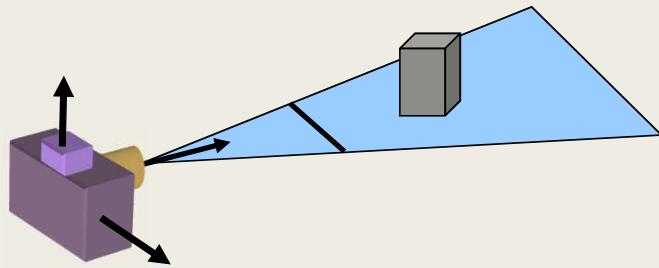
32 Lektionen, 166 Kapitel, 450.000 Wörter, C++ - Quellcode

- <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/introduction-to-ray-tracing/ray-tracing-practical-example>
- <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/ray-tracing-rendering-a-triangle/ray-triangle-intersection-geometric-solution>

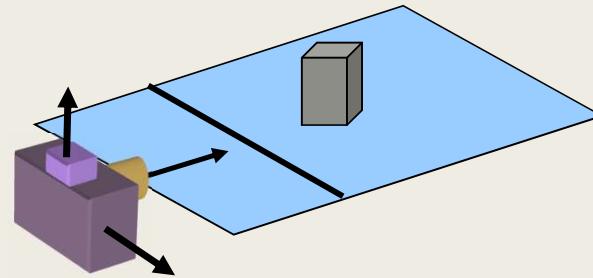
Wie erzeugt man eine orthographische Projektion im Ray Tracer?

Kurze Wiederholung des Unterschieds zwischen der perspektivischen und orthographischen Projektion.

Modell der virtuellen Kamera

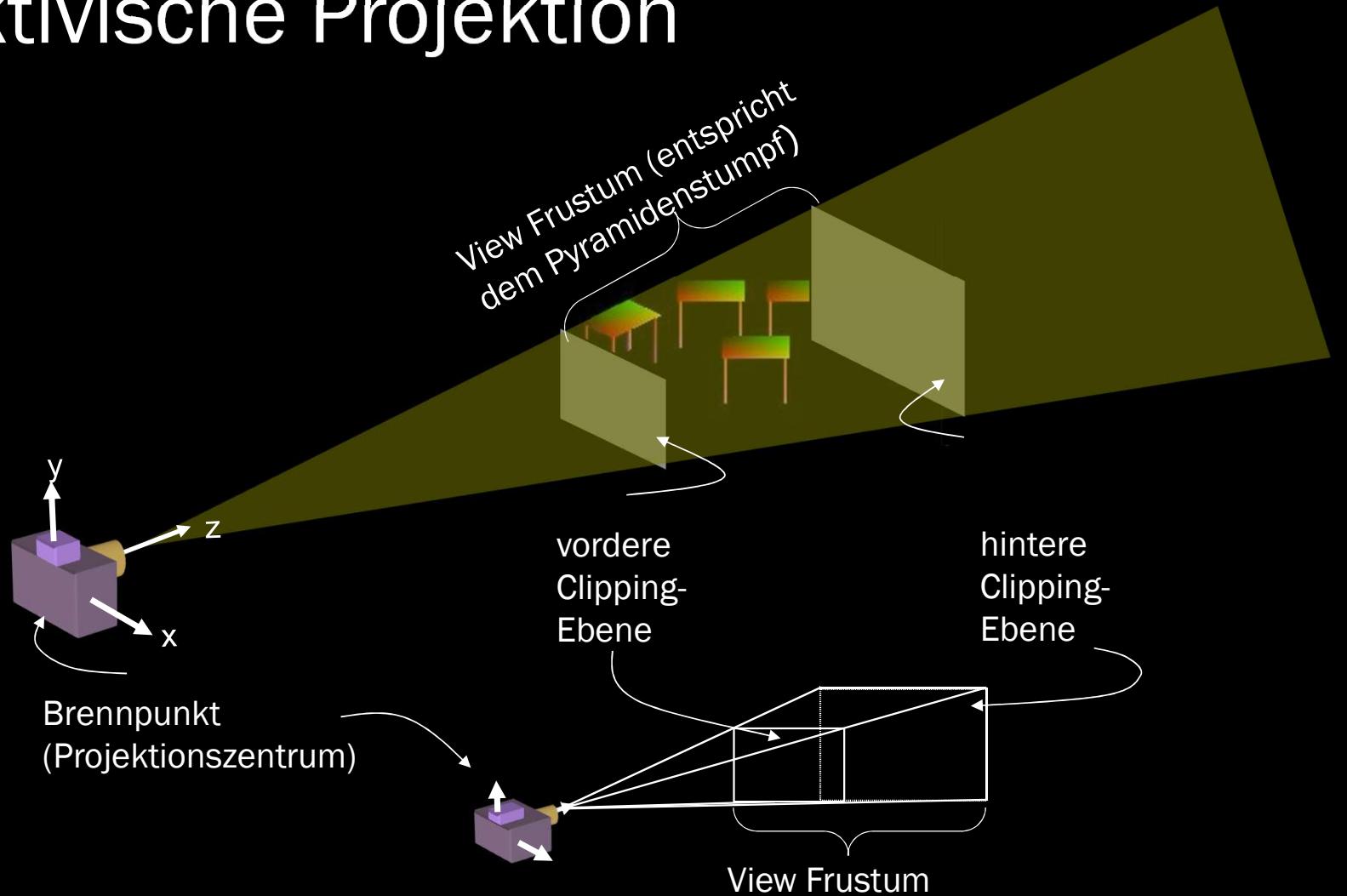


Perspektivische Projektion



Parallel- bzw. orthographische
Projektion

Perspektivische Projektion





Darstellung der perspektivischen Projektion

- Natürlichste Darstellungsart
- Sehstrahlen laufen auf einen Fluchtpunkt zu, so dass vordere Objekte größer dargestellt werden, als gleich große Objekte, die im hinteren Teil des Bildes zu finden sind

Wie erzeugt man eine orthographische Projektion im Ray Tracer?

- a) Indem man die Sehstrahlen von einem Projektionszentrum aus durch die Pixel der Bildebene schickt.
- b) Indem man die Sehstrahlen von den einzelnen Pixeln der Bildebene aus startet und sie dann entlang der Normalen der Bildebene in die Szene schickt.
- c) Weder a) noch b) sind richtig. Es muss eine andere Methode geben, um parallele Sehstrahlen berechnen zu können.

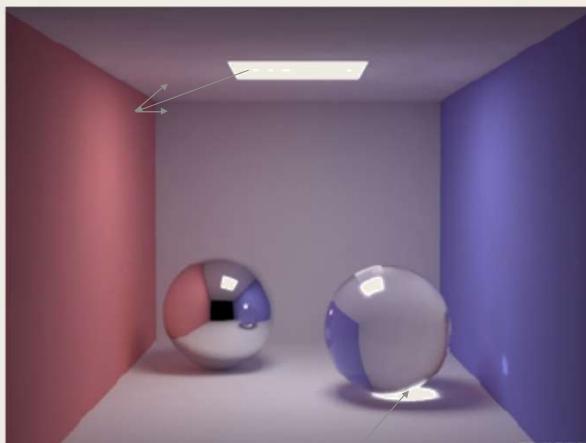
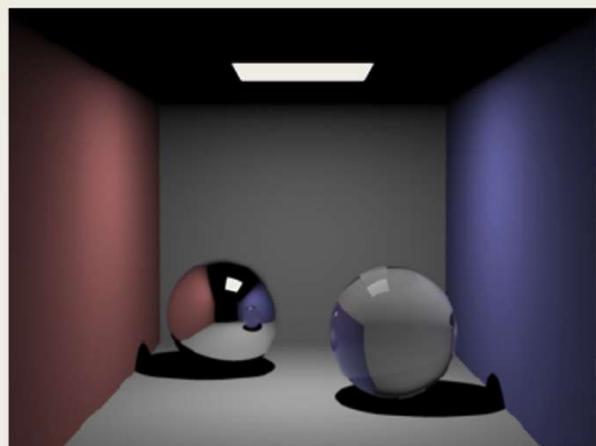
Wie erzeugt man eine orthographische Projektion im Ray Tracer?

- a) Indem man die Sehstrahlen von einem Projektionszentrum aus durch die Pixel der Bildebene schickt.
- b) Indem man die Sehstrahlen von den einzelnen Pixeln der Bildebene aus startet und sie dann entlang der Normalen der Bildebene in die Szene schickt.
- c) Weder a) noch b) sind richtig. Es muss eine andere Methode geben, um parallele Sehstrahlen berechnen zu können.

Unser Ziel:

Folgende Bildeigenschaften zu erzeugen...

- weichen Schatten (Halbschatten)
- indirekte diffuse Beleuchtung
- Kaustiks (*engl. Caustics*)

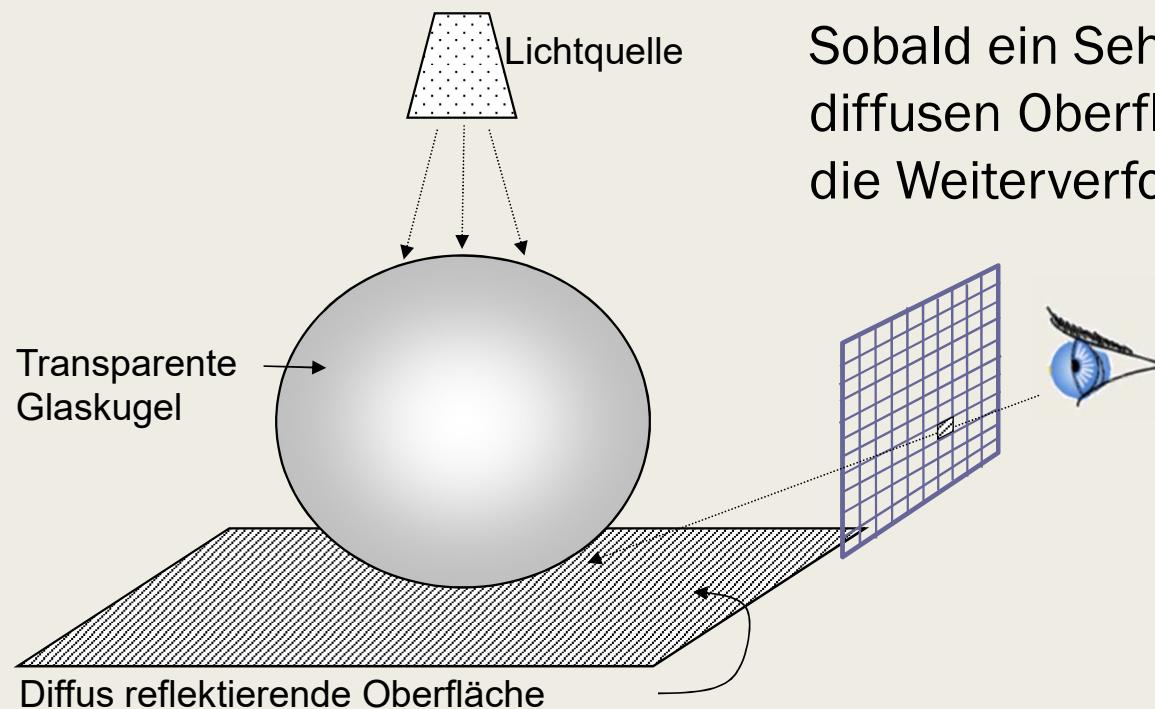


© 2004 Tomas Akenine-Möller

Kaustiks (= Lichtbündelungen) entstehen, wenn die Lichtstrahlen durch die Lichtbrechung in einem transparenten Objekt konzentriert werden.

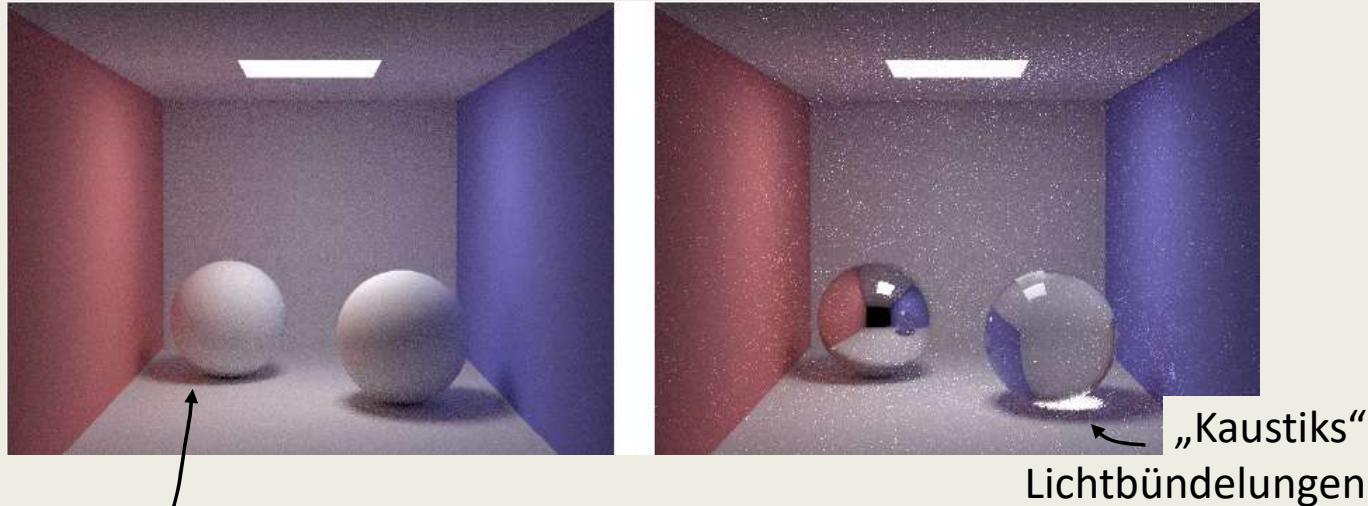
Images courtesy of
Henrik Wann Jensen
University of California
San Diego

Grundproblematik, die indirekte diffuse Beleuchtung und Kaustiks verhindert:



Sobald ein Sehstrahl auf einer diffusen Oberfläche auftrifft wird die Weiterverfolgung gestoppt.

Monte Carlo Path Tracing



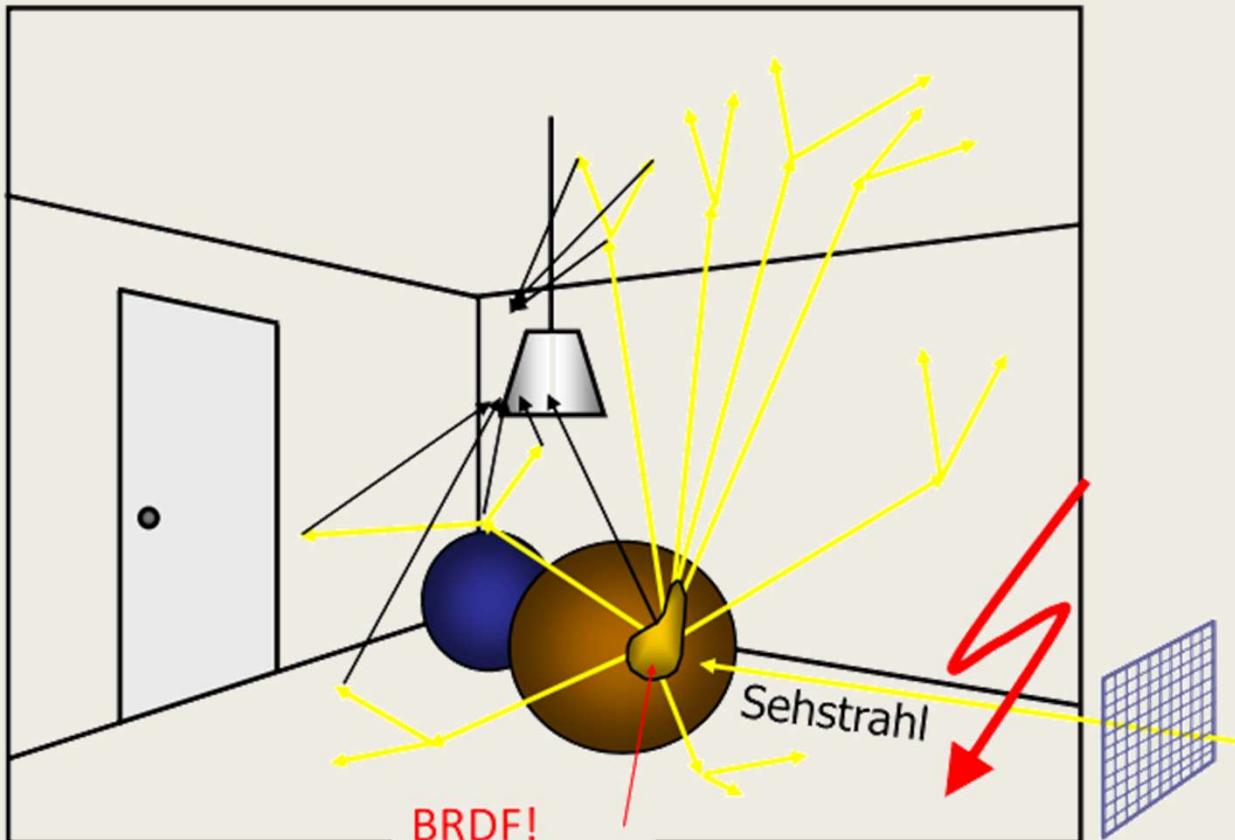
Vorteil: Auch diffuse indirekte Reflektionen können berechnet werden.

Nachteil: Starke Neigung zum Verrauschen

„Kaustiks“ und Spiegelungen verstärken das Rauschen.

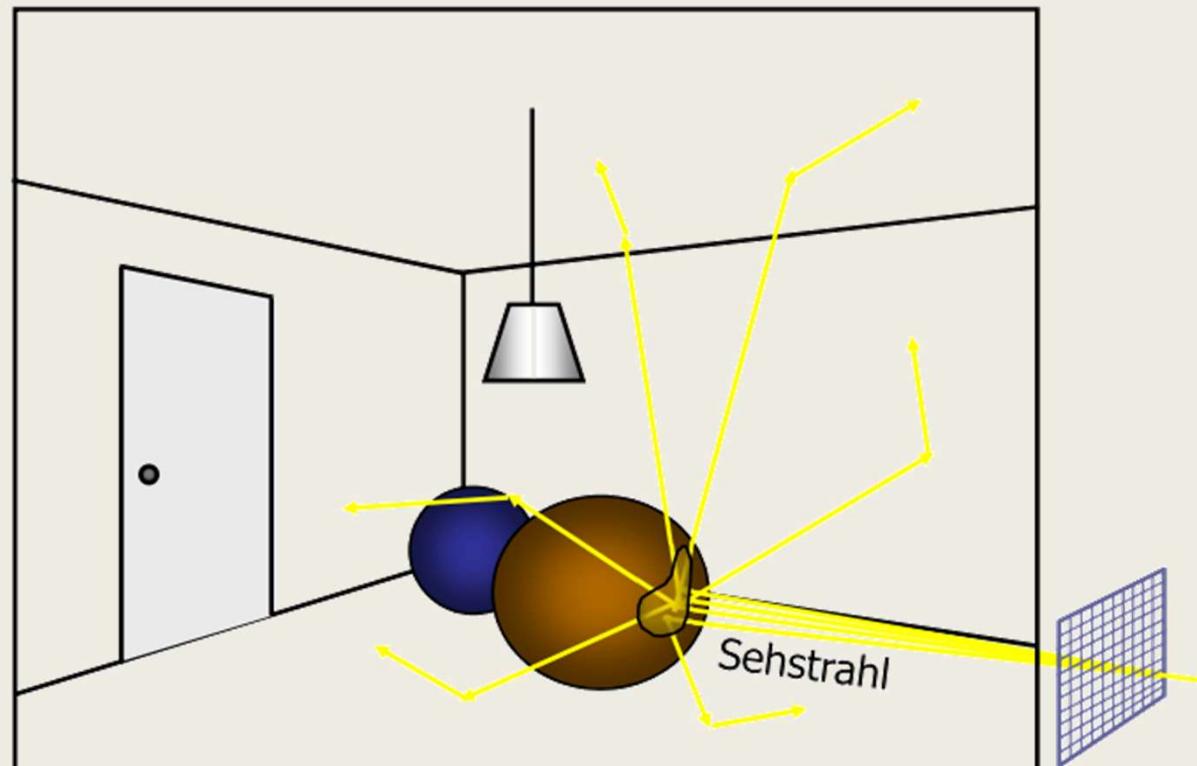
Monte Carlo Path Tracing

- Das Ziel ist, dass auch diffuse Materialoberflächen zu einer Weiterverfolgung des Sehstrahls führen!
- Würde man nach jeder Aufspaltung mehrere Sehstrahlen verfolgen, hätte man exponentielles Wachstum



Monte Carlo Path Tracing

- Da man kein exponentielles Wachstum will, wird jeder Sehstrahl nur einmal, in eine zufällig ausgewählte Richtung weitergeleitet.
 - Farbe des Pixels entsteht indem die Reflexionen aller durch den Pixel gehenden Sehstrahlen werden gemittelt.
 - Problem des Verfahrens: Starke Farbschwankungen bei benachbarten Pixel ist als Rauschen sichtbar.
- Warum ist das so?**
- Eine Methode der Reduktion: Untere Grenze an Sehstrahlen: 1.000 bis 10.000 Sehstrahlen pro Pixel, je nach Szene



Monte Carlo Path Tracing

Die Wahrscheinlichkeit in welche Richtung der Sehstrahl, der auf einer diffusen Oberfläche auftrifft, weitergeleitet wird, wird durch die BRDF festgelegt. So kann man bspw. wählen, dass eine Weiterleitung in die Richtung der Spiegelung wahrscheinlicher ist.

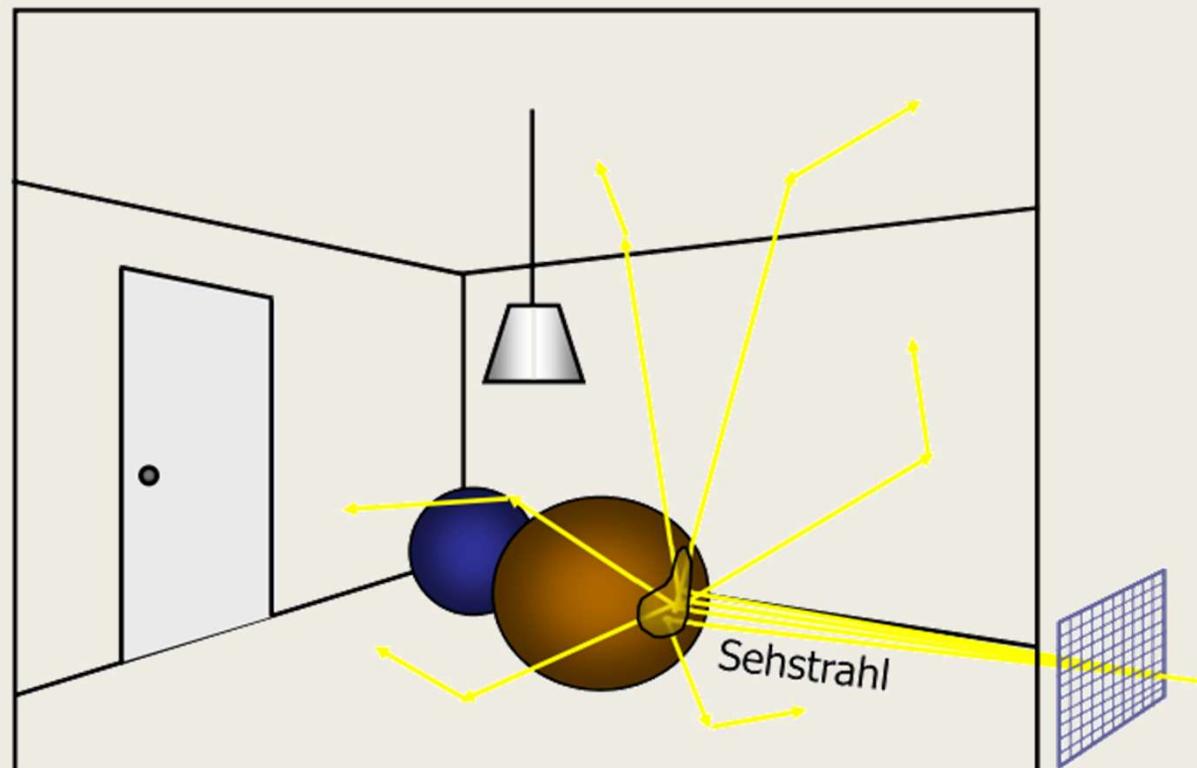
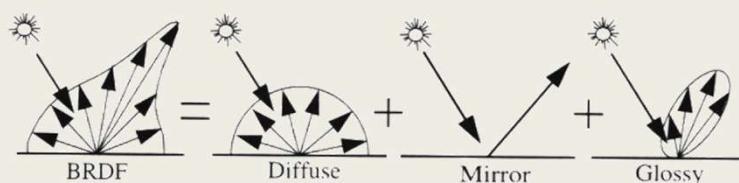
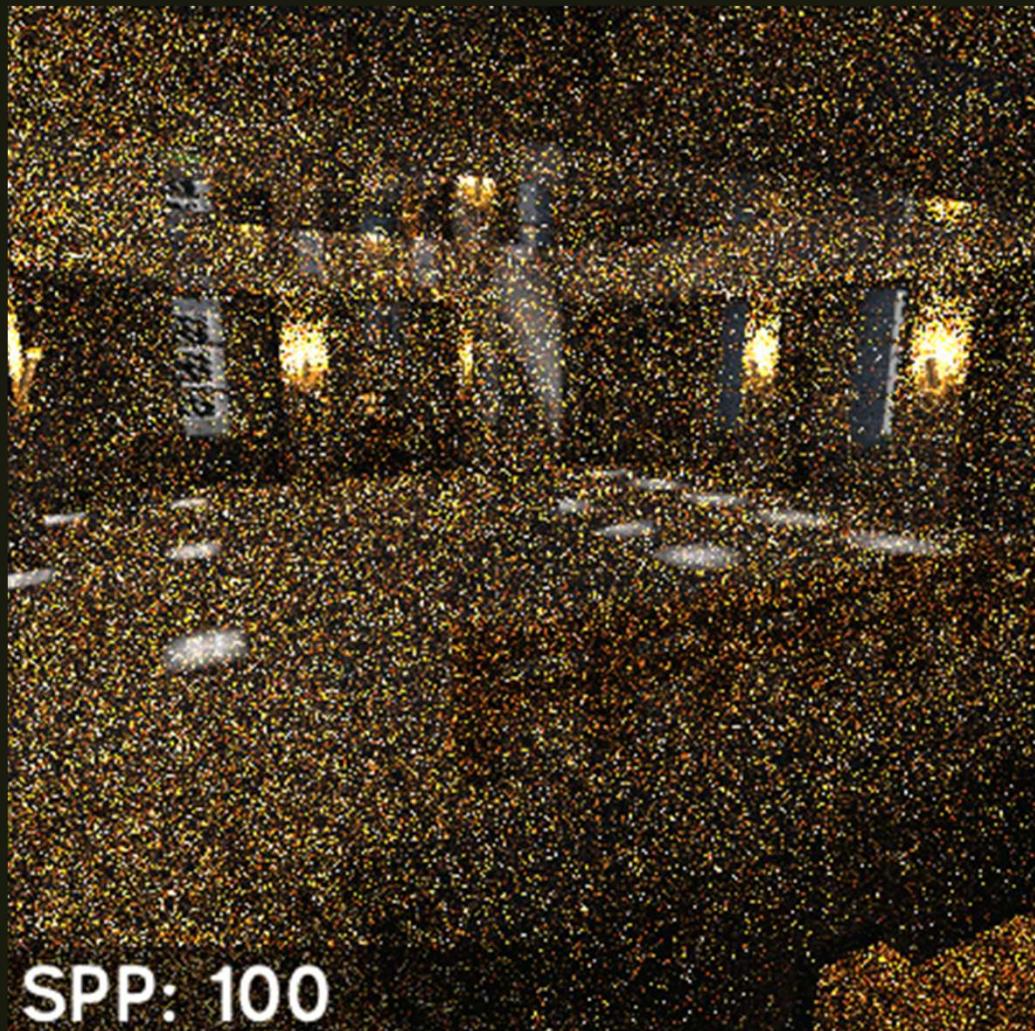


Bild links Hendrik Lenzsch aus: <http://resources.mpi-inf.mpg.de/departments/d4/teaching/ws200708/cg/slides/CG07-Brdf+Texture.pdf>



SPP: 100

SPP = Samples per Pixel

Prof. Dr. Elke Hergenröther

Bild aus: https://chunky.llbit.se/path_tracing.html

Qualität des Ergebnisses ist abhängig von den berechneten Farbwerten pro Pixel (äquivalent zu SSP)