1. **Introduction**

Der Begriff Physically Based Rendering/Shading (kurz PBR) beschreibt einen Überbegriff, welcher verschiedene Rendering Methoden und Techniken umfasst. Diese basieren auf physikalischen Theorien und Prinzipen, welche darauf ausgerichtet sind, die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie so korrekt wie möglich zu modellieren. Zu diesen physikalischen Gegebenheiten zählt beispielweise die Energieerhaltung innerhalb eines Systems. (vgl. S.133 David Wolf und DeFries)

Dennoch stellt PBR keine physikalisch korrekte Simulation des Lichtes dar, da es Approximations-funktion verwendet, um den Arbeitsaufwand und somit die gesamt Berechnungsdauer zu verringern. Aus diesem Grund wird es Physically Based (zu dt. physikalisch basierendes) Rendering genannt und nicht Physically Rendering. (DeFries)

(Notizen: Welche bedingungen gibt es.

Entwicklerstudious haben es schon adaptiert weil: Vorteile nennen )

1. **Physikalische Grundlagen der Radiometrie**

Die Radiometrie ist ein Teilgebiet der Strahlungsphysik, welches sich mit Messung von elektromagnetischer Strahlung unabhängig von dem Menschlichen Auge befasst (vgl. Spinger). Da im weiteren Verlauf des Papers Fachbegriffe bzw. Physikalische Größen der Radiometrie genutzt werden, werden im Folgenden diese näher erläutert.

Der **Strahlungsfluss** (Physikalisches Symbol φ) repräsentiert die Leistung einer Leuchtquelle. Definiert ist die Leistung als die Strahlungsenergie, welche von der Quelle abgestrahlt wird pro gemessene Zeiteinheit (vgl. Springer).

(- Formel -)

Die **Strahldichte** (Physikalisches Symbol L) ist ein Maß für die Lichtabstrahlung von einer Fläche. Sie definiert das die Leistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel ω und pro Flächeninhalt der emittierende Fläche A \*cos e. Der zusätzliche Gewichtungsfaktor cos e im Nenner beschreibt dabei das Phänomen, dass eine Fläche unter einem Betrachtungswinkel kleiner wirkt als bei einem Blick senkrecht auf die Fläche. Der Raumwinkel ω gibt uns die Fläche einer Form an, welche auf die Hemisphäre (Einheitskugel) projiziert wird. Durch den Raumwinkel wird nicht nur die einnehmende Fläche auf der Hemisphäre, sondern auch die Richtung des Objektes bestimmt auf, welches schlussendlich die Lichtstrahlen auftreffen (vgl. DeFries|grundL|GrundbG|vbg).

(- Bild für Strahldichte + Formel -)

Die **Bestrahlungsstärke** ist ein Maß für die Stärke der Lichteinstrahlung. Sie ist definiert als die Relation zwischen der Strahlungsleistung φ, die auf eine gegebene Fläche einfällt und der Größe dieser Fläche (vgl. grundL):

(- Formel -)

Die oben gezeigt Formel in ihrer einfachsten Form besitzt eine Vielzahl von Abhängigkeiten (vgl. grundL):

* Position der Fläche
* Orientierung der Fläche
* Distanz von Lichtquelle zur Fläche

Um diese Abhängigkeiten mit einzubeziehen verwendet man im beim Physically Based Rendering Folgende Formel der Bestrahlungsstärke:

(-Formel einfügen -)

Sie beschreibt die Bestrahlungsstärke über die Strahlungsdichte multipliziert mit einem Kosinus Faktor, welcher sich aus dem Winkel zwischen der Flächennormalen (n) und der Richtung des einfallenden Lichtstrahls (𝜔i) ergibt. Dieser Faktor repräsentiert, das Lambertsche Kosinus gesetzt, welches die jeweilige Geometrie der Situation (die Positionierung von Lichtquelle zur Oberfläche) mit einbezieht. Je direkter das Licht auf die Oberfläche auftrifft umso größer ist schlussendlich die Intensität des Lichtstrahls, welchen wahrgenommen werden kann (ref GRAY| online defs.).

Um letzten Endes die Gesamtmenge an Licht zu errechnen, welche auf eine Fläche einfällt müssen wir die Summe der Strahldichten aller Leuchtquellen messen. Physikalisch korrekt wird die Summe als Integral über die Hemisphäre Ω gebildet.

**reflectance equation**

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wird beim Physically Based Rendering die Interaktion zwischen dem Licht und den Materialen eines Objektes modelliert. Um dies zu berechnen verwendet das PBR eines der derzeit besten Modelle zur Simulation der visuellen Erscheinungen des Lichtes, die sogenannte Reflectance Equation (zu dt. Reflexions-Gleichung) (vgl. DeFries).

p = punkt des auftreffeLichtes

n = Normalenvektor

𝜔\_i = Vektor zur Lichtquelle

𝜔\_o = Vektor zur View

kd = Diffuser Anteil

c = Albedo

𝜃\_𝑖 = Winkel zwischen

Diese Formel ist eine Vereinfachung bzw. eine Spezialisierung der Render Equation (zu dt. Render Gleichung), welche 1986 von David Immel et al. and James Kajiyain, in ihrem Artikel „The Rendering Equation“ (vgl. Dal), vorgestellt wurde. Mit ihr lässt sich die Strahldichte (Lo) berechnen, welche im Kapitel (Kapitelref) bereits detailliert beschrieben wurde. Die Strahldichte im speziellen fall der Reflectance Equation liefert eine Aussage über, die Gesamtmenge an Licht, welche von einem Punkt (p) ausgehend entlang einer bestimmten Blickrichtung (𝜔𝑜) reflektiert wird. Dabei ist die Intensität der reflektierenden Strahlung abhängig von, der Menge an Licht, welche in dem jeweiligen Punkt auftritt und der Wechselwirkung des Lichts mit der Oberfläche.

Ersteres wird durch die sogenannte Bestrahlungsstärke aus dem Kapitel (kapitelref) gemessen. Letzteres durch die bidirectional reflective distribution function (kurz BRDF) erfasst. Auf die BRDF und deren einzelnen Funktionen, welche sie beinhaltet, wird in einem späteren Kapitel im Detail eingegangen. Das Ergebnis aus BRDF und Bestrahlungsstärke wird anschließend mit einem Kosinus Faktor, welcher das Lambertsche Kosinus Gesetz aus Kapitel (kapitelref) repräsentiert, gewichtet. (Wolf, DeFries)

Lambert Diffuse BRDF:

Eine Fläche, bei der die Strahldichte über die ganze Fläche und in alle Richtungengleich groß ist, wird als Lambert-Strahler bezeichnet. Zahlreiche Flächen, z.B. dasfür Glühlampen verwendete Wolfram oder übliches Schreibpapier strahlen annä-hernd lambertförmig