Sebastian Schäfer 24. November 2012

Die lokale Beleuchtungsrechnung

Bei polygonalen Renderern ist die Beleuchtungsrechnung üblicherweise in drei verschiedene Lichtarten aufgeteilt: Ambientes, diffuses und spiegelndes Licht. Die beleuchtete Farbe ergibt sich aus der Addition der einzelnen Teile. Das Verfahren wird allgemein auch *Phong-Beleuchtungsrechnung* genannt. Das Attribut *lokal* soll verdeutlichen, dass in der Berechnung ausschließlich direkte Beleuchtungsphänomene betrachtet werden, also nur solche, die durch eine Lichtquelle hervorgerufen werden. Indirekte Beleuchtung wie etwa die Beleuchtung von Objekte durch eine (direkt) beleuchtete Wand wird nur durch den ambienten Term approximiert.

$$\text{color}_{\text{illuminated}} = \text{color}_{\text{ambient}} + \text{color}_{\text{diffuse}} + \text{color}_{\text{specular}}$$

Im Folgenden werden die Beleuchtungsrechnungen von OpenGL[1] erklärt; Direct3D benutzt aber identische Gleichungen. Emittierendes Licht wird in den weiteren Betrachtungen vernachlässigt, da dies keine Beleuchtungsform, sondern als eine Materialeigenschaft modelliert wird. Jede Farbe wird durch einen 3-dimensionalen Vektor repräsentiert, dessen Werte den roten, grünen und blauen Farbanteil abspeichern. Aufgrund des Superpositionsprinzips kann die Beleuchtungsrechnung kompenentenweise erfolgen, also für jeden Farbkanal einzeln.

Alle Formeln dieses Artikels basieren auf den in Abbildung 1 dargestellten normalisierten Vektoren.

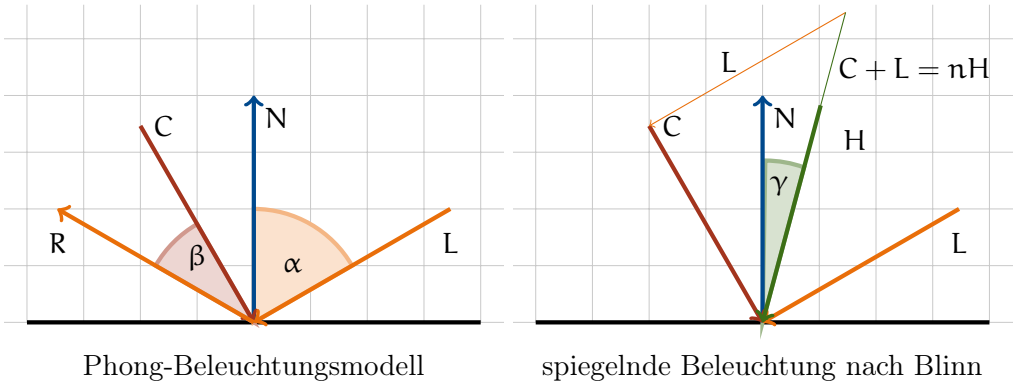

Abbildung 1: Vektoren der lokalen Beleuchtungsrechnung

[1] OpenGL Programming Guide; Shreiner, Woo, Neider, Davis; Addison-Wesley Professional 2005

1 Ambiente Beleuchtung

Die ambiente Beleuchtung steht für den Teil des Lichtes, der allgegenwärtig (global) in einer Szene vorhanden ist und von keiner bestimmten Quelle ausgeht.

$$\text{color}_{\text{ambient}} = \text{light}_{\text{ambient}} \cdot \text{material}_{\text{ambient}}$$

2 Diffuse Beleuchtung

Gerichtetes Licht, das aus einer bestimmten Richtung auf ein Objekt trifft, wird durch die diffuse Beleuchtung modelliert. Sie ist auch als das Lambert'sche Beleuchtungsmodell bekannt und beschreibt das Reflektionsverhalten von angerauten Materialien wie Papier oder Kreide gut.

$$\begin{aligned}\text{color}_{\text{diffuse}} &= \text{light}_{\text{diffuse}} \cdot \text{material}_{\text{diffuse}} \cdot \max(0, \cos(\alpha)) \\ &= \text{light}_{\text{diffuse}} \cdot \text{material}_{\text{diffuse}} \cdot \max(0, N \cdot L)\end{aligned}$$

Das Material streut das einfallende Licht gleichmäßig in alle Richtungen. Der Kosinus des Winkels zwischen Licht und Normale gibt an, wieviel einfallendes Licht auf das Material eingestrahlt wird (Lambertsches Gesetz).

3 Spiegelnde Beleuchtung

Die Spiegelung des Lichtes sieht man gemäß dem Reflexionsgesetz **Einfallswinkel = Ausfallswinkel** genau dann, wenn Betrachungswinkel = Beleuchtungswinkel.

Aber Vorsicht: Die Formel für spiegelnde Beleuchtung ist nicht physikalisch begründet - sie verstößt sogar gegen das Gesetz der Energieerhaltung. Für Metalle nimmt das reflektierte Licht die Farbe des Materials an, bei Nichtmetallen wird die Farbe des Lichtes (fast) nicht verändert.

3.1 Phong

In Phongs Beleuchtungsmodell wird die Stärke der gesehenen Reflektion aus dem Winkel zwischen reflektierten Lichtstrahl und Betrachtungsvektor gebildet (β). Ist der Winkel 0, ist die Reflektion maximal. Um die Reflektion bei grösseren Winkel abzuschwächen, wird das Ergebnis mit dem Materialparameter *Glanz*[2] potenziert.

$$\begin{aligned}\text{color}_{\text{specular}} &= \text{light}_{\text{specular}} \cdot \text{material}_{\text{specular}} \cdot \max(0, \cos(\beta))^{\text{shininess}} \\ &= \text{light}_{\text{specular}} \cdot \text{material}_{\text{specular}} \cdot \max(0, C \cdot R)^{\text{shininess}}\end{aligned}$$

[2] engl.: shininess

3.2 Blinn

Ein alternatives Modell für die spiegelnde Beleuchtungsrechnung stammt von Blinn. Sie basiert nicht auf dem reflektierten Lichtvektor sondern auf einem Halbvektor zwischen Licht- und Betrachtungsvektor:

$$H = \frac{V + L}{|V + L|}$$

Der Winkel zwischen Halbvektor und Normale (γ) ist genau dann 0, wenn der Winkel zwischen einfallendem Licht und dem Betrachtungsvektor gleichgross ist (entspricht β):

$$\begin{aligned} \text{color}_{\text{specular}} &= \text{light}_{\text{specular}} \cdot \text{material}_{\text{specular}} \cdot \max(0, \cos(\gamma))^{\text{Glanz}} \\ &= \text{light}_{\text{specular}} \cdot \text{material}_{\text{specular}} \cdot \max(0, N \cdot H)^{\text{shininess}} \end{aligned}$$

Das Skalarprodukt $N \cdot H$ erzeugt kleinere Werte als $C \cdot R$, so dass in Blinns Modell für vergleichbare Ergebnisse ein niedrigerer Glanzwert gewählt werden muss (Abbildung 2).

Beispiel

In Abbildung 2 ist ein abschließendes Beispiel gezeigt, in dem das Stanford-Bunny[3] mit folgenden RGB-Werten beleuchtet wurde:

	ambient	diffuse	specular
light	$(31, 31, 31)$	$(255, 255, 255)$	$(255, 255, 255)$
material	$(255, 255, 255)$	$(20, 101, 171)$	$(255, 255, 255)$

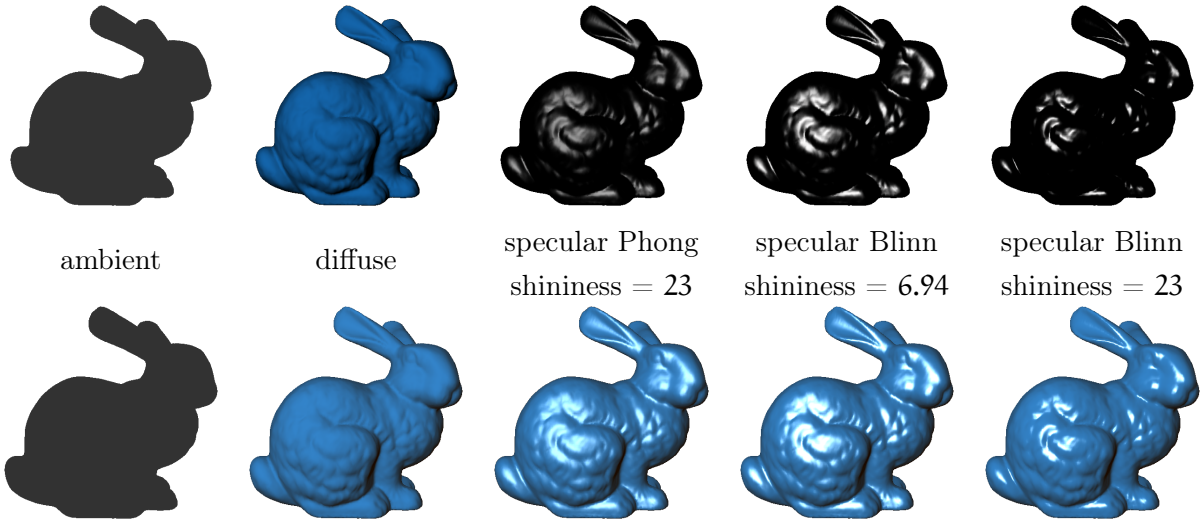

Abbildung 2: Die einzelnen Summanden oben und das aufaddierte Ergebnis unten

[3]The Stanford 3D Scanning Repository - http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/