

# Aufgabe 1: Das Phong-Beleuchtungsmodell

## Teilaufgabe 1a

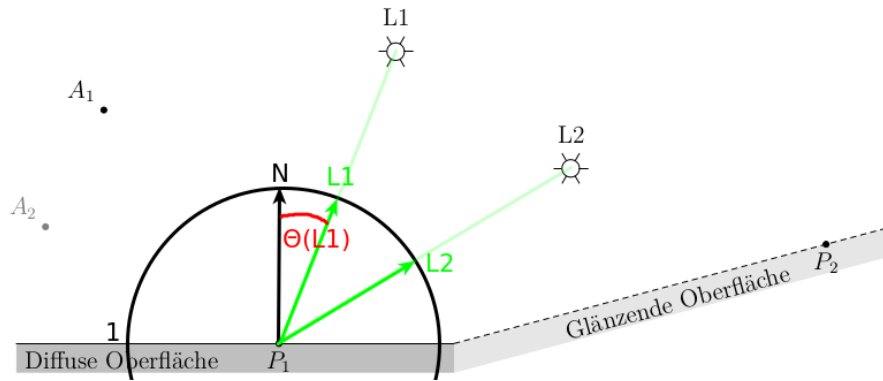


Abbildung 1: Skizze zu Aufgabe 1

## Teilaufgabe 1b

Geben Sie mit Hilfe der benannten Vektoren die Formel an, mit der die Farbe der Oberfläche im Punkt  $P_1$  bestimmt werden kann! Unterstreichen Sie dabei die Vektoren, die normiert sein müssen!

$$I = \sum_{i=1}^2 \overbrace{k_a \cdot I_{L_i}}^{=0} + k_d \cdot I_{L_i} \cdot \underbrace{(N \cdot L_i)}_{\cos \Theta(L_i)} + \overbrace{k_s \cdot I_{L_i} \cdot (R_{L_i} \cdot V)^n}^{=0}$$

Normalisierte Vektoren:

- TODO: Welche Vektoren müssen normalisiert sein? Nicht alle?

## Teilaufgabe 1c

Welche der beiden Lichtquellen trägt mehr zur Intensität der Oberfläche an  $P_1$  bei?

$L_1$  trägt mehr zur Intensität  $I$  von  $P_1$  bei, weil  $\cos \Theta(L_1)$  größer ist als  $\cos \Theta(L_2)$ .

## Teilaufgabe 1d

Wie verändert sich die Intensität von  $P_1$ , wenn er statt von  $A_1$  nun von  $A_2$  betrachtet wird?

$I$  ändert sich nicht, weil keiner der Terme die zu  $I$  in diesem Fall beitragen vom  $A_1$  bzw.  $A_2$  abhängig ist.

### Teilaufgabe 1e

*Es soll nun die Farbe des Punktes  $P_2$  bestimmt werden. Dieser befindet sich auf der glänzenden Oberfläche. Zeichnen Sie für  $P_2$  die Vektoren ein, die zur Bestimmung seiner Farbe benötigt werden! Beschränken Sie sich dabei auf die Vektoren für  $L_1$ .*

TODO

### Teilaufgabe 1f

*Wie verändert sich die Intensität von  $P_2$ , wenn er statt von  $A_1$  von  $A_2$  betrachtet wird? Begründen Sie Ihre Antwort kurz!*

TODO

## Aufgabe 2: Raytracing

### Teilaufgabe 2a

- Anstelle einen Punkt für einen Pixel abzutasten, tastet man  $k^2$  mal in äquidistanten Intervallen ab.
- Aliasing wird dadurch verringert.

### Teilaufgabe 2b

- Maximale Rekursionstiefe erreicht
- Rekursion bis der Beitrag zur Farbe vernachlässigbar wird

### Teilaufgabe 2c

*Was ist der Unterschied zwischen Distributed Raytracing und Whitted-Style Raytracing?*

Beim Distributed Raytracing wird nicht nur ein Schattenstrahl verschickt, sondern viele. Damit sollen zu perfekte Spiegelungen / Transmissionen vermieden werden.

*Welchen Lichttransport kann man durch Distributed Raytracing berechnen, den Whitted-Style Raytracing nicht erfassen kann?*

Siehe Kapitel 2 (Raytracing), Folie 147ff:

- Kaustiken

- Weiche Schatten
- Tiefenunschärfe
- Bewegungsunschärfe

### **Teilaufgabe 2d**

*Nennen Sie kurz und stichpunktartig die zwei Schritte, die zur Berechnung von Vertex-Normalen bei einem Dreiecksnetz notwendig sind! Gehen Sie dabei davon aus, dass nur die Vertex-Positionen und die Topologie des Netzes gegeben sind!*

TODO

## Aufgabe 3: Farben und Farbwahrnehmung

### Teilaufgabe 3a

#### Teilaufgabe 3a (I)

Wie berechnet man die Sensorantwort  $a$  für ein Spektrum  $S(\lambda)$ ?

$$a(S(\lambda)) = \int_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda$$

#### Teilaufgabe 3a (II)

Unter einem *Metamerismus* versteht man das Phänomen, das unterschiedliche Spektren den selben Farbeindruck vermitteln können. Es muss also

$$a_1 = a_2$$

gelten, damit  $S_1(\lambda)$  und  $S_2(\lambda)$  bzgl. der gegebenen Kamera Metamere sind.

### Teilaufgabe 3b

1. Das HSV-Farbmodell trennt Farbton von Helligkeit.  
⇒ Richtig (*Hue* (Farbton), *Saturation* (Sättigung), *Value* (Hellwert)).
2. Der Farbeindruck einer additiv gemischten Farbe hängt nicht vom Farbeindruck der Ausgangsfarben ab.  
⇒ Falsch. Vgl. Superpositionsprinzip, Kapitel 1, Teil 2, Folie 6.
3. Farbige Flächen werden unabhängig von ihrer Umgebung vom menschlichen Auge immer gleich wahrgenommen.  
⇒ Falsch. (TODO: Welche Folie?)
4. Der Machsche Bandeffekt ist vor allem bei Phong-Shading ein Problem.  
⇒ Falsch. Machsche Bänder entstehen an den Grenzen von Flächen, die jeweils keine Farbgraduierung haben. Beim Phong Shading gibt es wegen der interpolierten Normalen keine solchen Flächen. Der Effekt tritt z.B. beim Flat Shading auf, ist also vor allem dort problematisch.

## Aufgabe 4: Bézier-Kurven

### Teilaufgabe 4a

Gegeben sei die Bézier-Kurve  $\mathbf{b}(u) = \sum_{i=0}^3 \mathbf{b}_i B_i^3(u)$  mit den Kontrollpunkten  $\mathbf{b}_i$ , wobei  $u \in [0, 1]$  und  $B_i^3$  das  $i$ -te Bernstein-Polynom vom Grad 3 ist.

#### Teilaufgabe 4a (I)

Werten Sie die Bézier-Kurve zeichnerisch mit dem de-Casteljau-Algorithmus an der Stelle  $u = 1/3$  aus! Markieren Sie den Punkt  $\mathbf{b}(1/3)$ !

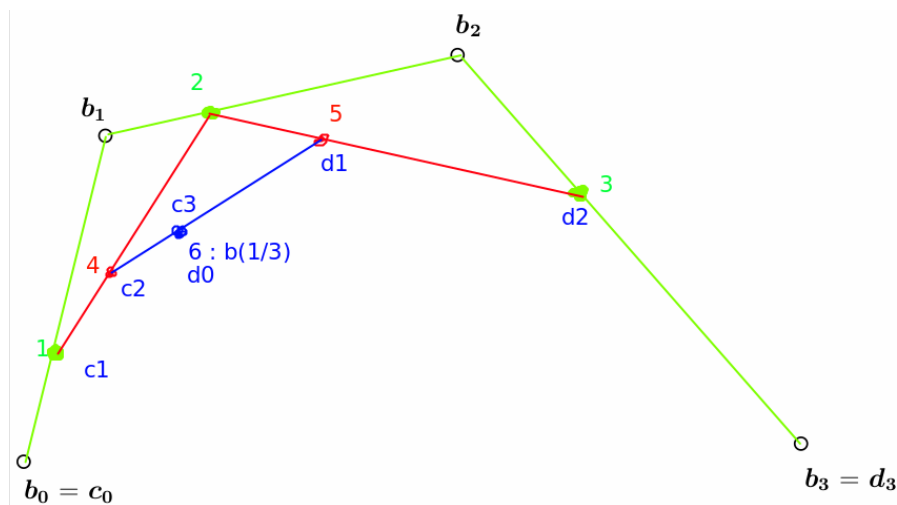


Abbildung 2: Skizze zu Aufgabe 4a und 4b

#### Teilaufgabe 4a (II)

vgl. Abbildung 2

#### Teilaufgabe 4b

Siehe Nachklausur 2015, Aufgabe 11b für eine detaillierte Erklärung.

1. Nein, da die Kontrollpunkte auf den Ecken eines Rechtecks liegen, aber die Kurve nicht symmetrisch ist.
2. Nein, da die Kurve nicht in der konvexen Hülle der Kontrollpunkte liegt.
3. Ja
4. Nein, da die Kurve nicht tangential an  $b_0b_1$  ist.

## Aufgabe 5: Transformationen

Der Basiswechsel ist eine Verschiebung um  $\begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$  und dann eine Rotation um  $180^\circ$  um die  $x$ -Achse. Daher:

$$M = \overbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 180^\circ & -\sin 180^\circ & 0 \\ 0 & \sin 180^\circ & \cos 180^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}^{\text{Rotation}} \cdot \overbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}^{\text{Translation}} \quad (1)$$

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

## Aufgabe 6: Texturierung

### Teilaufgabe 6a

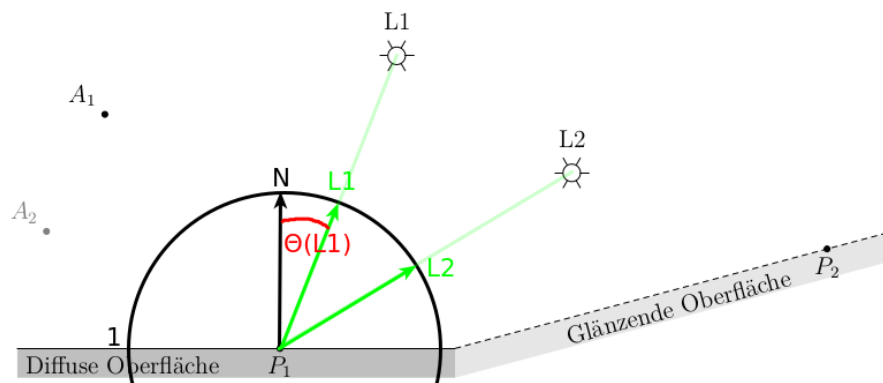
$$\lambda_A = \frac{A_\Delta(P, B, C)}{A_\Delta(A, B, C)} = \frac{3}{6} \quad \lambda_B = \frac{A_\Delta(P, A, C)}{A_\Delta(A, B, C)} = \frac{1}{6} \quad \lambda_C = \frac{A_\Delta(P, A, B)}{A_\Delta(A, B, C)} = \frac{2}{6} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \lambda_A \cdot \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda_B \cdot \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \end{pmatrix} + \lambda_C \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} \quad (5)$$

### Teilaufgabe 6b

Siehe Kapitel 4, Folie 56

Gegeben ist eine Textur mit  $8 \times 8$  Texeln und 4 Mipmap-Stufen sowie ein Pixel-Footprint und dessen Mittelpunkt (siehe Abbildung). Kreuzen Sie in der Mipmap-Pyramide die Texel an, die für eine trilineare Interpolation zur Bestimmung des Farbwertes verwendet werden! Begründen Sie kurz Ihre Wahl der Mipmap-Stufen!



TODO

### Teilaufgabe 6c

Welchen Vorteil haben Summed-Area-Tables gegenüber Mipmaps bei der Texturfilterung? Die Textur kann mit einem beliebigen rechteckigen Filter in konstanter Zeit gefiltert werden. Kapitel 4, Folie 66.

### Teilaufgabe 6d

Das Interpolationsschema heißt *Bilineare Interpolation* und funktioniert wie folgt:

$$t_{12} = (1 - a) \cdot t_1 + a \cdot t_2 \quad (6)$$

$$t_{34} = (1 - a) \cdot t_3 + a \cdot t_4 \quad (7)$$

$$t = (1 - b) \cdot t_{34} + b \cdot t_{12} \quad (8)$$

## Aufgabe 7: Cube-Maps und Environment-Mapping

### Teilaufgabe 7a

#### Teilaufgabe 7a (I)

Wie wird die Cube-Map-Seite bestimmt, auf die zugegriffen wird? Welche ist es für  $\mathbf{r}$ ? Es wird die betragsmäßig größte Komponente gewählt. Diese bestimmt ob es oben/unten oder links/rechts oder vorne/hinten wird. Das Vorzeichen bestimmt dann per Konvention die konkrete Fläche.

Im vorliegenden Fall ist  $|r_z|$  am größten, also ist es Fläche 1.

### Teilaufgabe 7a (II)

Berechnen Sie die Texturkoordinaten des Zugriffs auf der für  $\mathbf{r}$  ausgewählten Cube-Map-Seite!

$$s = 1/2 + \frac{r_x}{2 \cdot r_z} = \frac{1}{4} \quad (9)$$

$$t = 1/2 + \frac{r_y}{2 \cdot r_z} = \frac{3}{4} \quad (10)$$

### Teilaufgabe 7a (III)

Vorteile von Cube-Maps gegenüber Sphere-Maps (Quelle):

- Keine Bildverzerrung
  - Unabhängigkeit vom Viewpoint  $P$
  - Schneller Berechenbar
- ⇒ Besser für Echtzeit-Rendering geeignet.

### Teilaufgabe 7b

#### Teilaufgabe 7b (I)

Was wird in einer Environment-Map gespeichert?

Ein Bild der Umgebung in einer Textur.

#### Teilaufgabe 7b (II)

Nennen Sie ein Anwendungsbeispiel für Environment-Maps! Terminator (Reflektion auf dem Terminator im Film, vgl. Kapitel 4, Folie 97)

#### Teilaufgabe 7b (III)

Welche grundlegende Annahme wird bei Environment-Mapping gemacht? Das Environment ist unendlich weit weg (also: nur die Richtung  $r$  wird verwendet, nicht jedoch der Ausgangspunkt  $P$ ).



### Teilaufgabe 7b (IV)

*Was bzw. welcher Effekt kann mit vorgefilterten Environment-Maps nicht korrekt dargestellt werden?*

Selbstverschattung

## Aufgabe 8: Hierarchische Datenstrukturen

### Teilaufgabe 8a

Reihenfolge der Schnittpunkte:

A B 14 15 C 5 6 11

### Teilaufgabe 8b

1. räumliches Mittel (Spatial Median)  
→ Nein, da  $B$  nicht in der Mitte liegt
2. Objektmittel (Object Median)  
→ Nein, da  $B$  genau 8 Objekte auf der einen Seite und nur 2 Objekte auf der anderen Seite hat.
3. Kostenfunktion (Surface Area Heuristic)  
→ Ja.

### Teilaufgabe 8c

*Nennen Sie jeweils eine Stärke und eine Schwäche der Aufteilung mittels Kostenfunktion (Surface Area Heuristic)!*

Vorteil Gut konstruierte kD-Bäume können deutlich schneller sein als schlecht konstruierte  
Nachteil Konstruktion aufwendig

## Teilaufgabe 8d

Aussage	BVH	Octree	kD-Baum	Gitter
Datenstruktur wird an Geometrie angepasst	Ja (Hüllkörper)	Ja (Rekursiv- onstiefe)	Ja (wo Ebenen liegen)	Ja (Rekursiv- onstiefe)
Raum wird immer achsenparallel unterteilt	Nein	Ja	Ja	Ja
Datenstruktur ist Binärbaum <sup>1</sup>	Nein	Nein	Ja	Nein
Speicherplatz der Datenstruktur ist abhängig von der Anzahl der Primitive	Ja	Ja	Ja	Ja
Bei der Konstruktion kann die SAH sinnvoll eingesetzt werden	Ja <sup>2</sup>	Nein	Ja	Nein

## Aufgabe 9: Rasterisierung und OpenGL

#	Aussage	Wahr	Falsch
1	Die Präzision des Tiefenpuffers wird verringert, wenn man die Distanz zwischen Near-Plane und Far-Plane vergrößert.	X	
2	Die OpenGL-Pipeline nutzt den Vertex-Cache beim Zeichnen ohne Index-Puffer.		X
3	OpenGL-Puffer vom Typ <code>GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER</code> werden für das Rendering mit der Shared-Vertex-Repräsentation verwendet.	X	
4	Ein Alpha-Test kann im Fragment-Shader mit dem Befehl <code>discard</code> implementiert werden.	X	
5	Die OpenGL-Funktion <code>glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)</code> kann verwendet werden, um additives Blending zu implementieren.		X
6	Shadow-Mapping benötigt den Stencil-Puffer.		X
7	Für die Transformation einer Normalen im Vertex-Shader kann immer dieselbe Matrix wie zur Transformation der entsprechenden Vertices verwendet werden.		X
8	Beim Gouraud-Shading werden die im Vertex-Shader berechneten Farben pro Fragment linear interpoliert.	X	

<sup>1</sup>Üblicherweise ist ein BVH ein Binärbaum, muss aber nicht so sein.

<sup>2</sup>Foliensatz 5 Folie 98

## Aufgabe 10: Tiefenpuffer und Transparenz

### Teilaufgabe 10a

*In welcher Reihenfolge müssen die drei Funktionen aufgerufen werden, um eine korrekte Darstellung des Hauses zu erhalten?*

1. Lösche Tiefenpuffer
2. Zeichne Wände
3. Zeichne Fenster

### Teilaufgabe 10b

Sortierung	keine	vorne nach hinten	hinten nach vorne	Begründung
ZeichneWände	TODO	TODO	TODO	TODO
ZeichneFenster	TODO	TODO	TODO	TODO

### Teilaufgabe 10c

Sortierung	Tiefentest	EQUAL	LESS	GREATER	Tiefe schreiben	Blending
ZeichneWände	TODO	TODO	TODO	TODO	TODO	TODO
ZeichneFenster	TODO	TODO	TODO	TODO	TODO	TODO

## Aufgabe 11: Phong-Shading und Phong-Beleuchtungsmodell

### Teilaufgabe 11a

```
shader.vert
1 uniform mat4 matN; // Normalentransformation (Objekt -> Kamera)
2 uniform mat4 matM; // Modelltransformation
3 uniform mat4 matV; // Kameratransformation
4 uniform mat4 matP; // Projektionstransformation
5 uniform mat4 matMV; // Model-View-Matrix
6 uniform mat4 matMVP; // Model-View-Projection-Matrix
7
8 in vec3 P; // Eingabe-Vertex in Objektkoordinaten
9 in vec3 n; // Eingabenormale in Objektkoordinaten
10
11 out vec3 P_k; // Vertex-Position in Kamerakoordinaten
```

```

12 out vec3 n_k; // Vertex-Normale in Kamerakoordinaten
13
14 void main() {
15     P_k = matMV * P;
16     n_k = matN * n_k;
17     gl_Position = matP * P_k;
18 }

```

---

## Teilaufgabe 11b

```

                                     shader.frag
1 uniform vec3 L; // Lichtposition in Kamerakoordinaten
2
3 // Materialparameter
4 uniform vec3 ka, kd, ks;
5 uniform float pexp; // Phong Exponent
6
7 // Intensität der Lichtquelle
8 uniform vec3 intensity;
9
10 in vec3 P_k;
11 in vec3 n_k;
12
13 void main()
14 {
15     vec3 n = n_k;
16     // Die Kamera ist im Ursprung vec3(0)
17     vec3 v = normalize(-P_k);
18     vec3 l = normalize(L - P_k);
19     vec3 r = reflect(-l, n);
20     float cosAlpha = max(0.0, dot(v, r));
21     vec3 diffuse = kd * max(0.0, dot(l, n));
22     vec3 specular = ks * pow(cosAlpha, pexp);
23     gl_FragColor = vec4(intensity * (ka + diffuse + specular), 1.0);
24 }

```

---

## Aufgabe 12: Deformation mit Skelettsystemen

```

                                     skelett.vert
1 in vec3 P; // Position des Vertex in Objektkoordinaten.
2 in float w[3]; // Einfluss der Knochen.

```

```

3
4 uniform mat4 matVP; // View-Projection-Matrix.
5 uniform mat4 M1; // Transformation des Fingers (Objekt -> Welt).
6 uniform mat4 M2; // Transformation von K2 relativ zu K1.
7 uniform mat4 M3; // Transformation von K3 relativ zu K2.
8
9 void main()
10 {
11     vec4 P1 = M1 * vec4(P, 1.);
12     vec4 P2 = M2 * P1;
13     vec4 P3 = M3 * P2;
14     gl_Position = matVP * (w[0] * P1 + w[1] * P2 + w[2] * P3);
15 }

```

---