

Teil 7: Beleuchtung

Beleuchtungsmodelle, Schattierungsmodelle

Einleitung

Beleuchtung vs. Schattierung

- ◆ **Beleuchtung:** Modell auswerten (anschl.)
 - ◆ global vs. lokal
 - ◆ physikalisch (photo-realistisch?) vs. empirisch
 - ◆ Phong-Modell
- ◆ **Schattierung:** Pixel einfärben (VO, 2. Teil)
 - ◆ Polygone schattieren (Flat, Gouraud, Phong)

Einleitung

Globale Beleuchtungsmodelle

- ◆ Modelle der globalen Lichtverteilung – Schatten, Reflexionen, Brechung, etc.

$$I = k_{\text{local}} \cdot I_{\text{local}} + k_{\text{refl}} \cdot I_{\text{refl}} + k_{\text{trans}} \cdot I_{\text{trans}}$$

- ◆ Ray Tracing, Radiosity (→ extra VOs)

Lokale Beleuchtungsmodelle

- ◆ Modelle der lokalen Beleuchtung
- ◆ Empirische bzw. physikalische Modelle

I_{local}

Beleuchtungsmodell

Photorealismus

- ◆ exakte Repräsentation in der CG
- ◆ möglichst physikalische Modelle
 - ◆ Reflexion von Licht, Transparenz, Textur, Schatten, etc.

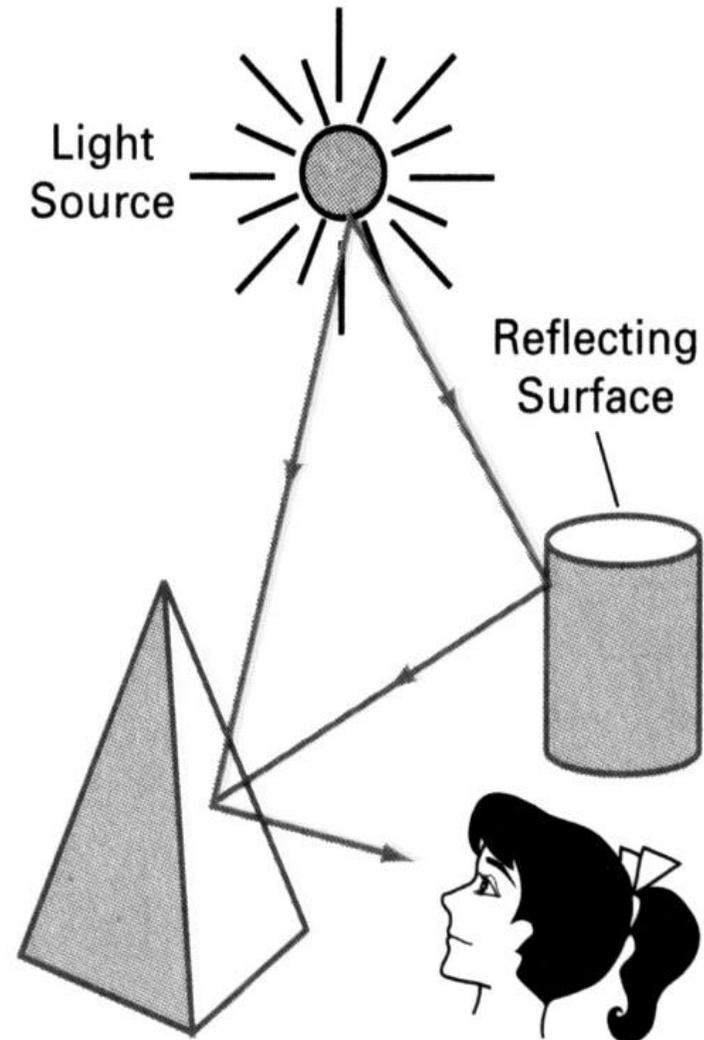
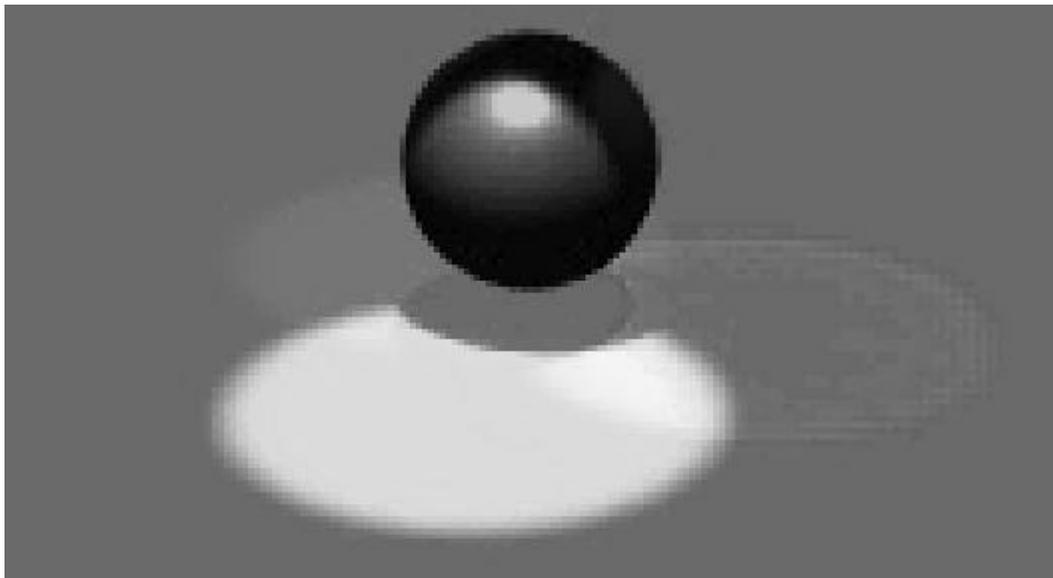
Modellierung von Lichteffekten

- ◆ Physik
- ◆ Psychologie
- ◆ Licht-Objekt Interaktionen

Lichtquellen

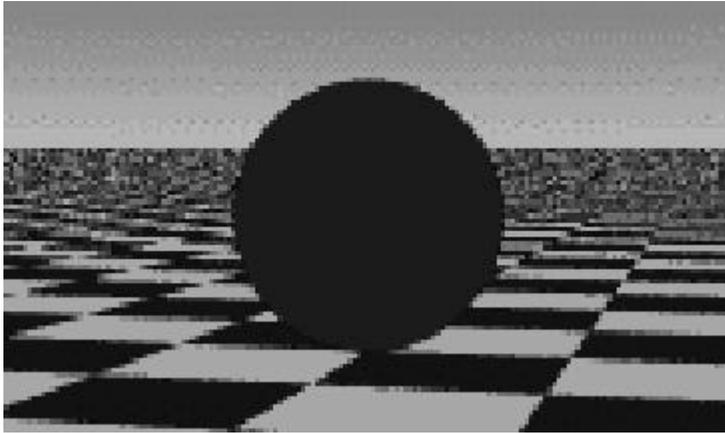
Reflektiertes Licht ist Summe von:

- ◆ Lichtquellenbeiträgen
- ◆ Objektbeiträge via Reflexionen

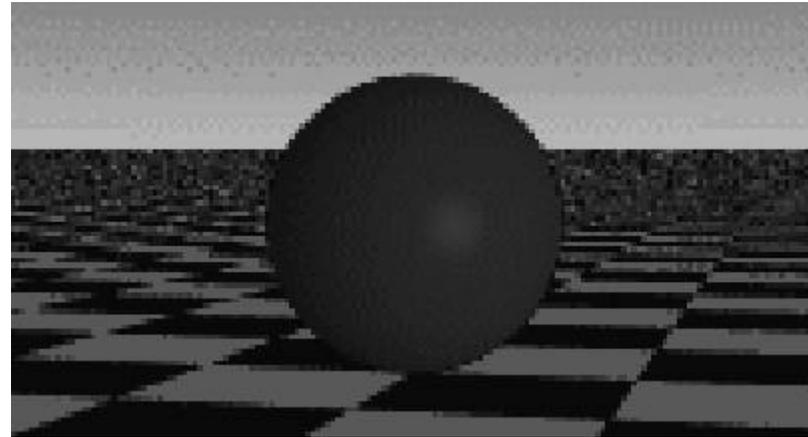


Lichtquellentypen

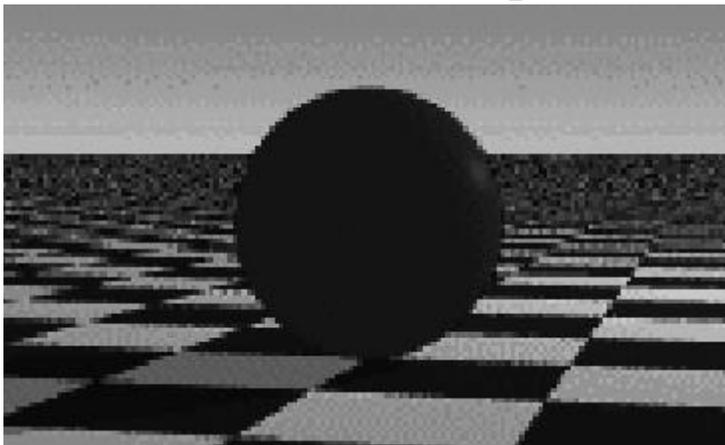
Ambientes Licht



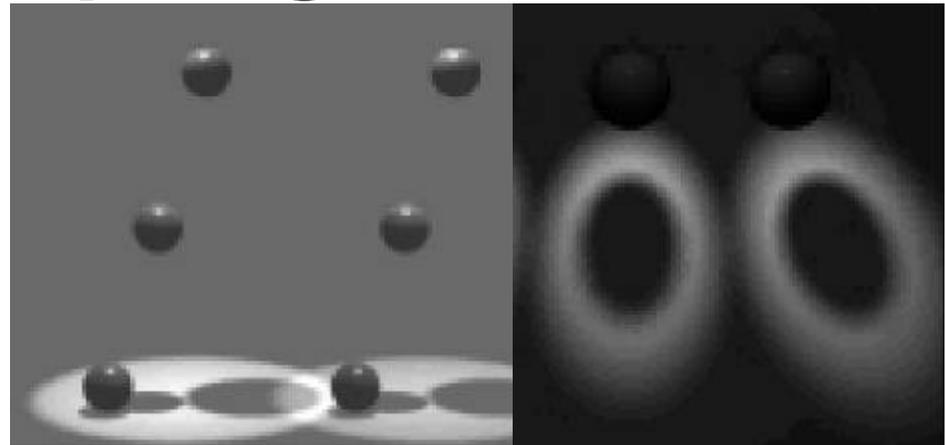
Direktionales Licht



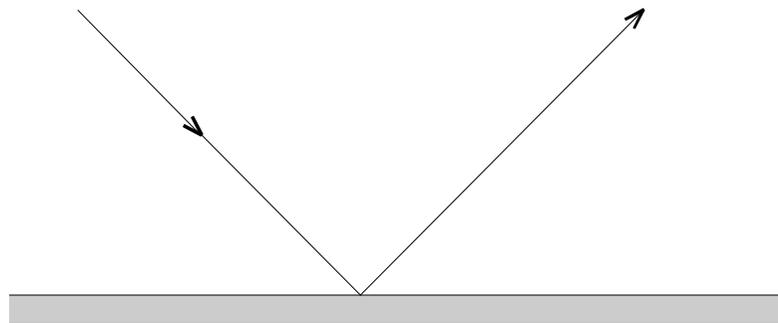
Punktlichtquellen



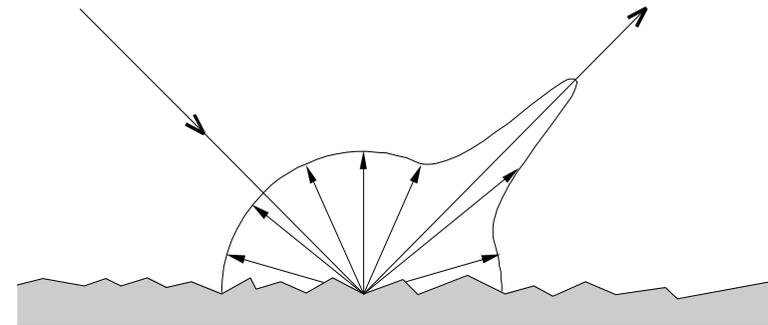
Spotlights, Flächen



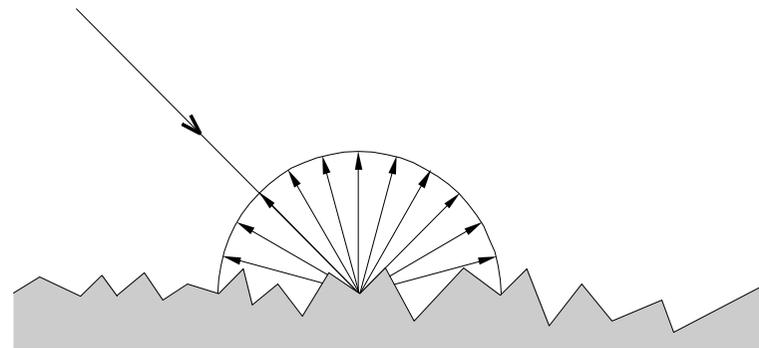
Reflexionseigenschaften



a) spiegelnd



b) gerichtet diffus



c) diffus

Objektfarbe

Farbe \neq Objekteigenschaft!

- ◆ "Farbe" = Reflexionseigenschaft
- ◆ "Farbe" = Welche Anteile von (weißem) Licht werden reflektiert
- ◆ RGB (0.5, 0, 0.8) =
 - ◆ in weißem Licht:
Reflexion = 50% Rot + 80% Blau, also Lila
 - ◆ in rotem Licht:
Reflexion = 50% Rot, also (dunkleres) Rot
 - ◆ in grünem Licht:
Reflexion = 0, also Schwarz!
- ◆ Im Weiteren nur mehr Helligkeiten

Umgebungslicht

Ungerichtete (diffuse) Lichtquelle

Intensität in Umgebung gleich

**Entsteht durch vielfache Reflexionen
an Oberflächen in der Umgebung**

Triviales Beleuchtungsmodell:

$$I = k_a I_a$$

I_a Intensität des Umgebungslichtes
 k_a ambienter Reflexionskoeffizient

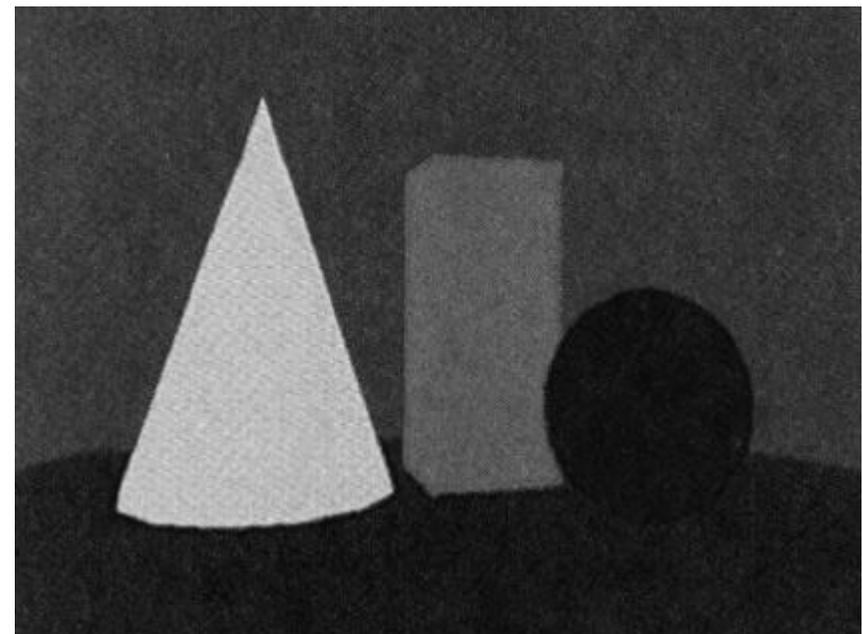
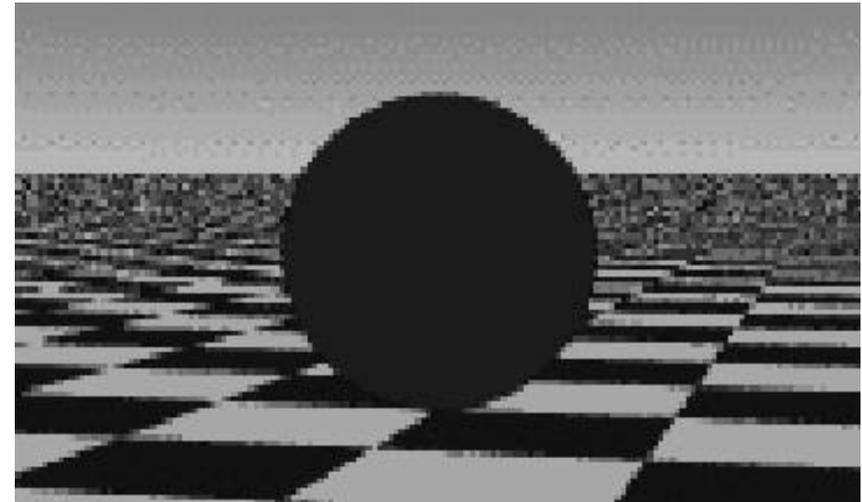
Umgebungslicht – Beispiele

Objekthelligkeit nur
von k_a abhängig

Keine Variation in
Abhängigkeit von
Flächenorientierung

Unabhängig von
Betrachtungsrichtung

Erschwertes 3D-
Wahrnehmen



Diffuse Reflexion (1)

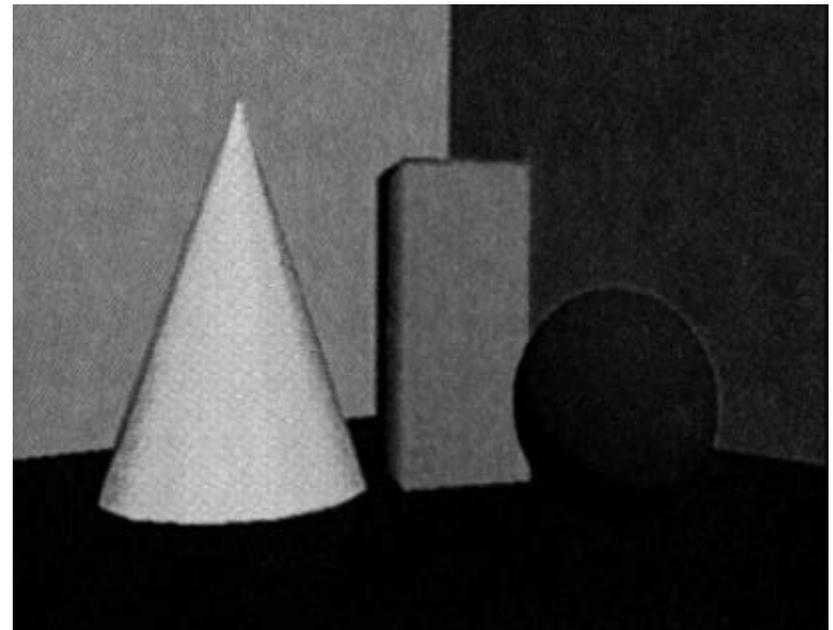
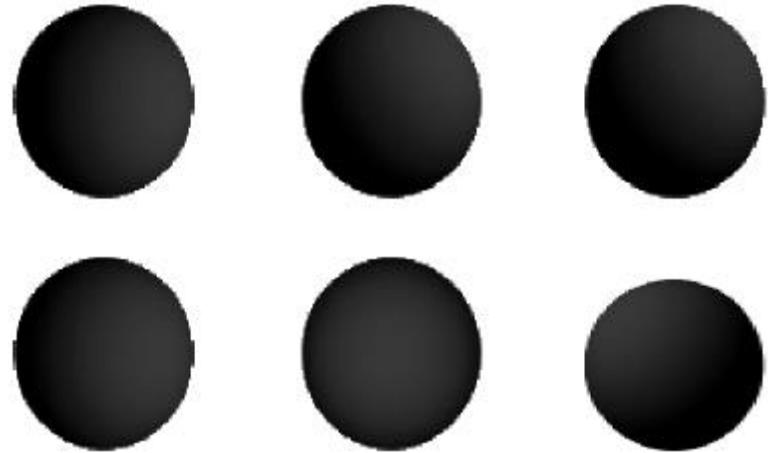
Jeweils konstant für
eine Fläche

Unabhängig v.
Betrachtungsrichtung

Abhängig von
Beleuchtungsrichtung

Dunkler, wenn schräg
angeleuchtet

Verbessertes 3D-
Wahrnehmen



Diffuse Reflexion (2)

Ideale diffuse Reflexion (Lambertsche Reflektoren)

Helligkeit hängt von der Lage
der Fläche in Bezug auf das Licht ab

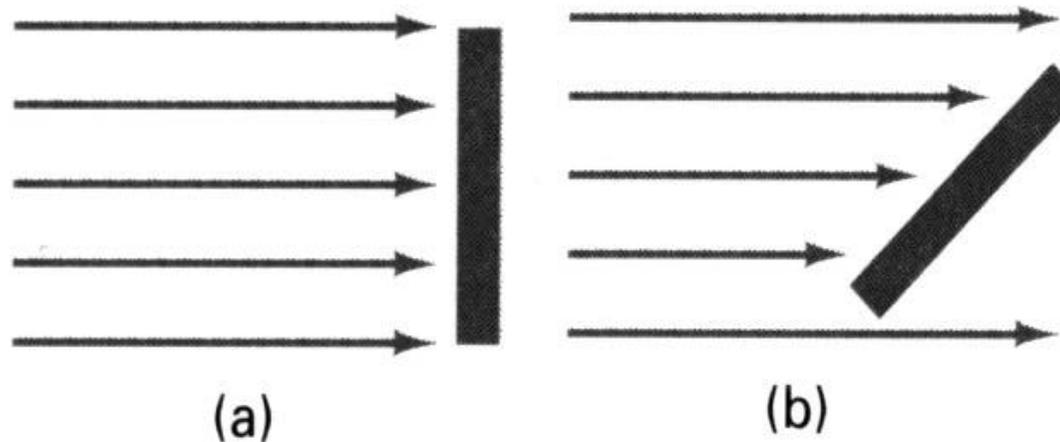


Figure 14-7

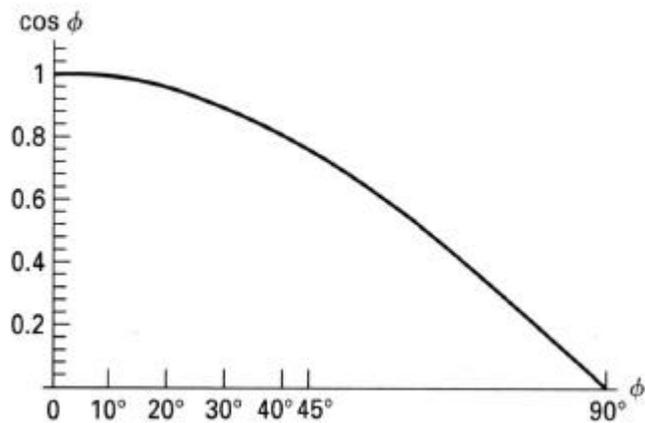
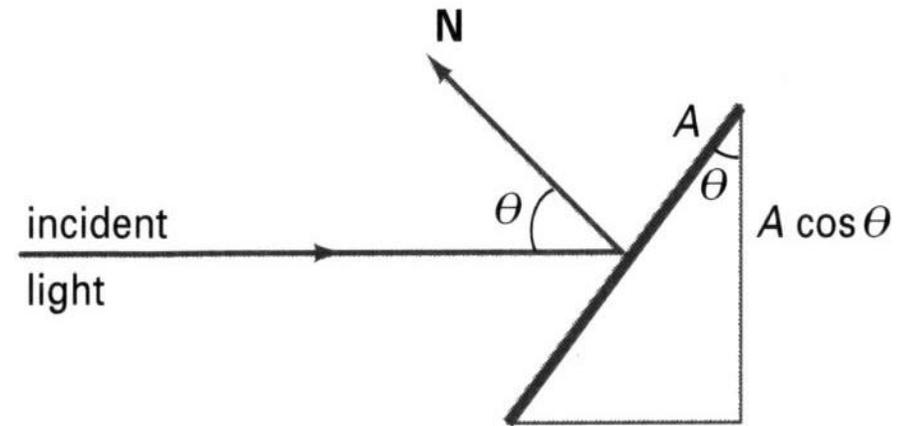
A surface perpendicular to the direction of the incident light (a) is more illuminated than an equal-sized surface at an oblique angle (b) to the incoming light direction.

Diffuse Reflexion (3)

Lamberts Gesetz

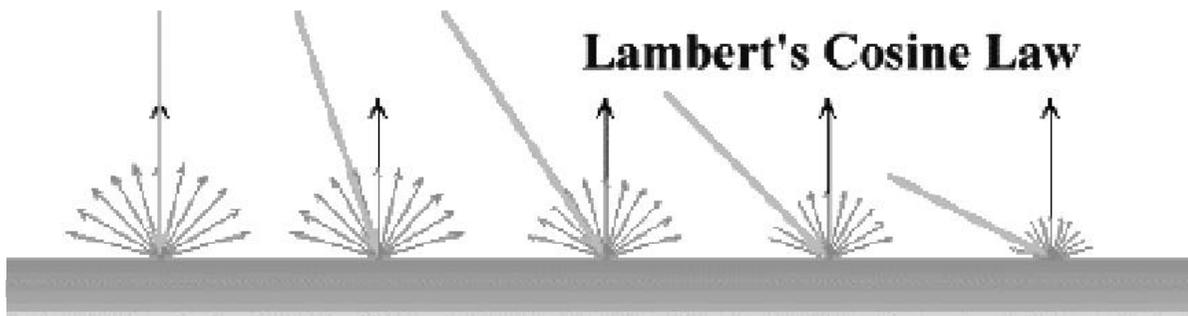
Flächenhelligkeit ist proportional zu $\cos\theta$

θ ... Winkel(**L**, **N**)



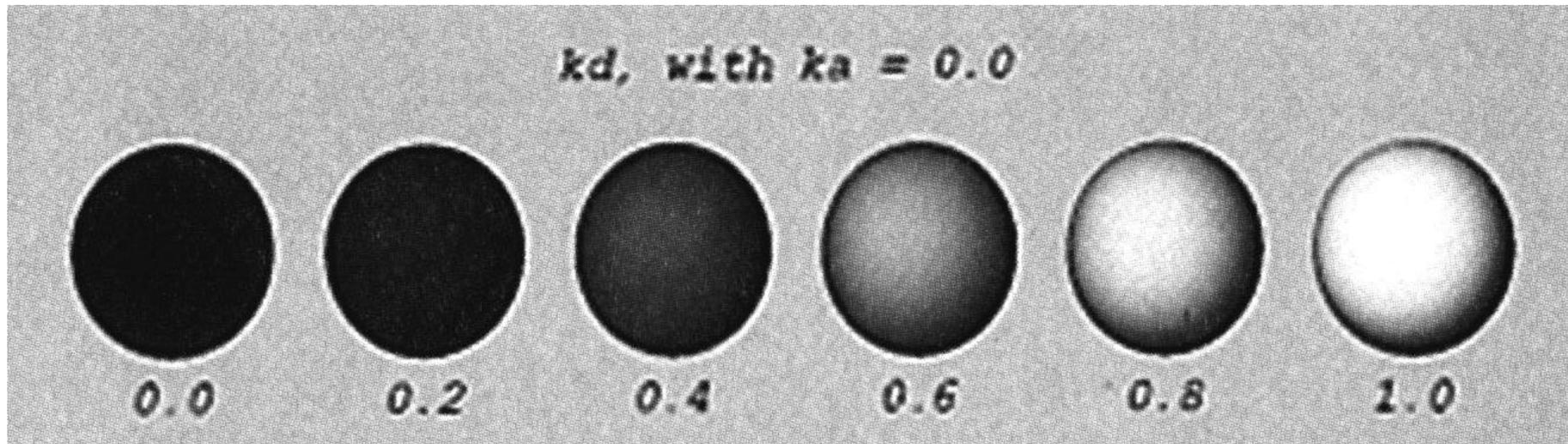
$$\begin{aligned} I_{\text{diff}} &= k_d I_L \cos \theta \\ &= k_d I_L \mathbf{n} \cdot \mathbf{l} \\ &= k_d I_L \max(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}, 0) \end{aligned}$$

Lambert's Cosine Law



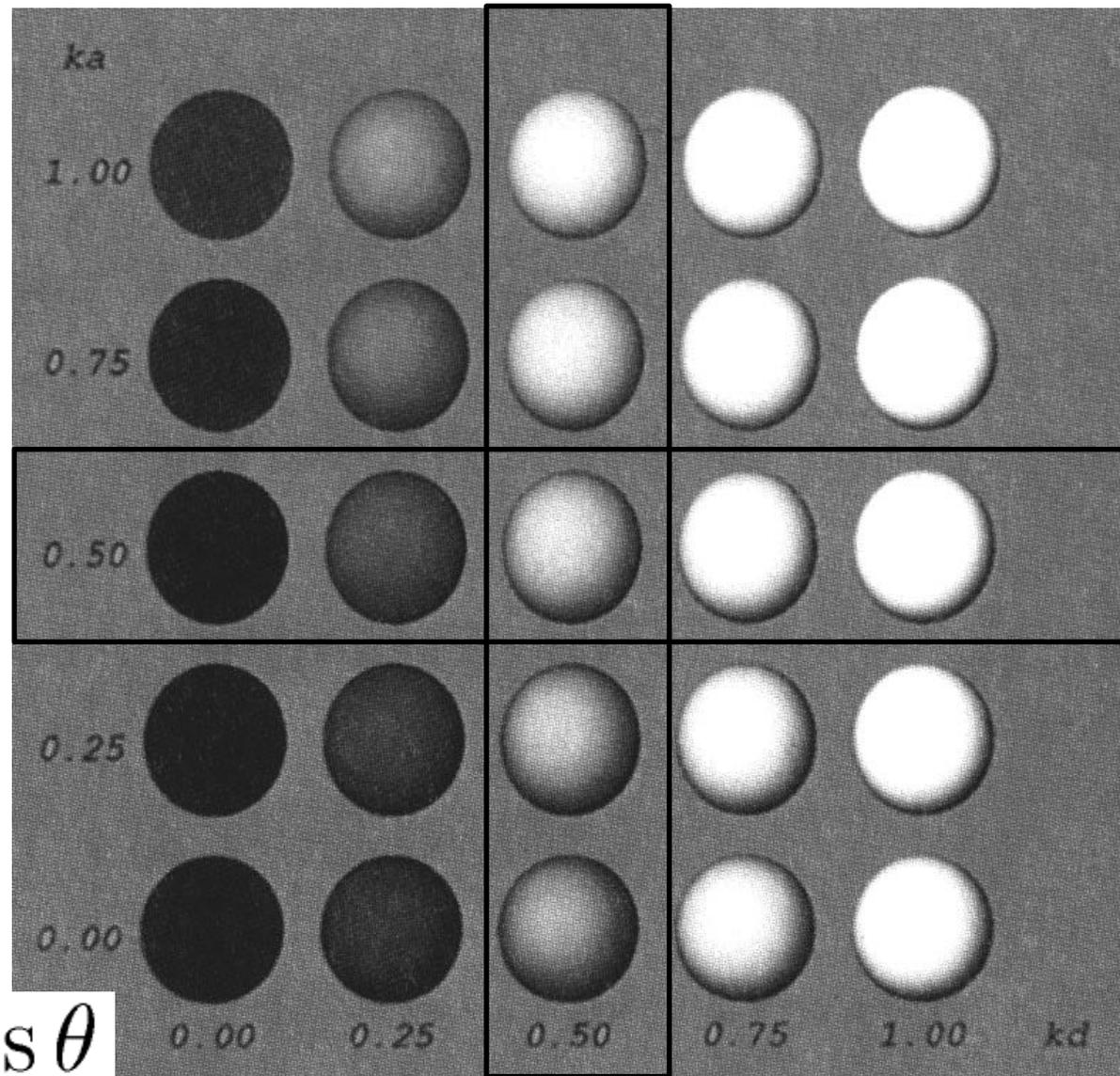
Diffuse Reflexion (4)

k_d
variiert



Diffuse Reflexion (5)

Diffuse Refl.
und
Umgebungs-
licht



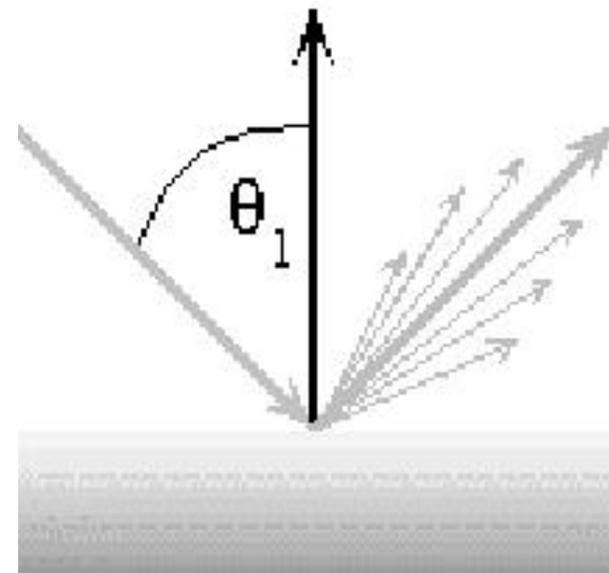
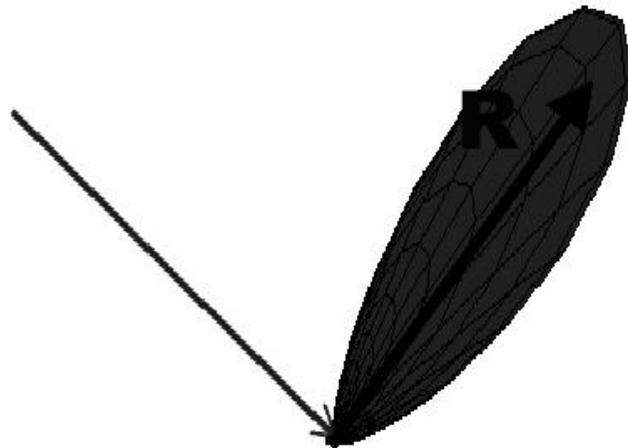
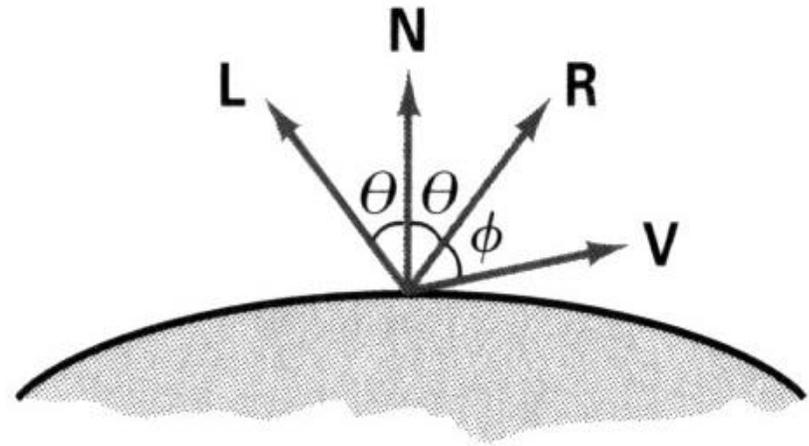
$$k_a I_a + k_d I_L \cos \theta$$

Spiegelnde Oberflächen

Ideale Spiegel vs.
nicht-ideale Spiegel

Viele Materialien
spiegeln

- ◆ nicht nur ...
- ◆ aber verstärkt in eine Richtung



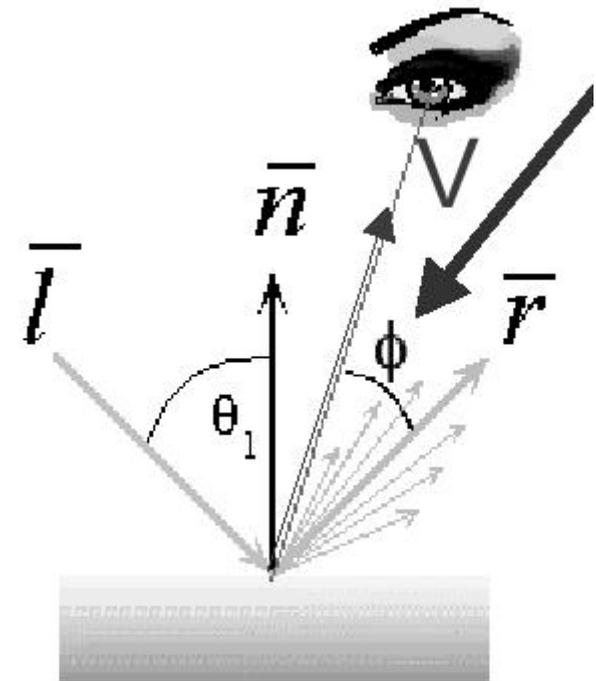
Spiegelnde Reflexion (1)

Empirisches Phong Modell

$$\begin{aligned} I_{\text{spec}} &= k_s I_L \cos^{n_s} \phi \\ &= k_s I_L (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})^{n_s} \end{aligned}$$

Abhängig von Winkel ϕ
zw. \mathbf{V} und \mathbf{R}

\mathbf{V} ... Betrachtungsvektor
 \mathbf{R} ... Reflexionsvektor

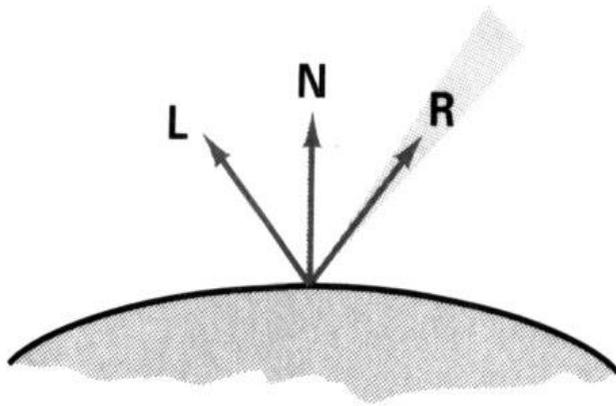


Spiegelnde Reflexion (2)

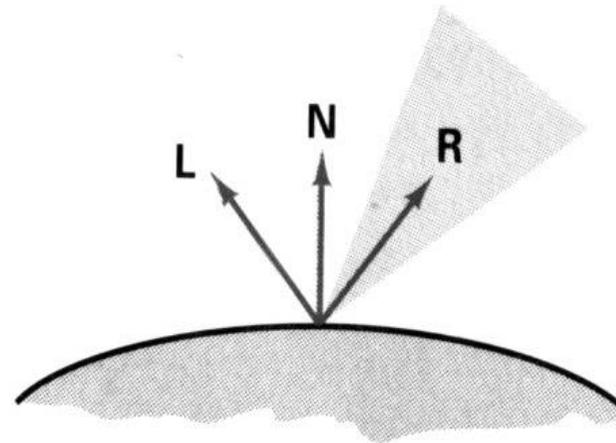
Empirisches Phong Modell

- ◆ n_s gross \Rightarrow glänzende Fläche
- ◆ n_s klein \Rightarrow dumpfe Fläche

$$I_{\text{spec}} = k_s I_L \cos^{n_s} \phi$$



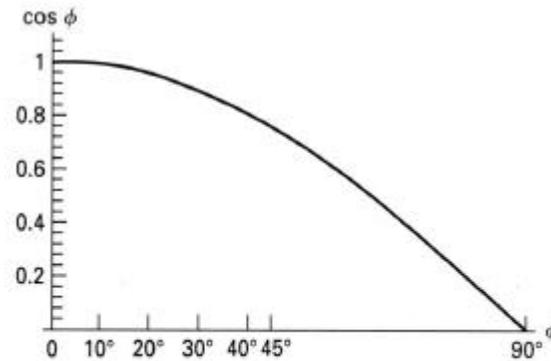
Shiny Surface
(Large n_s)



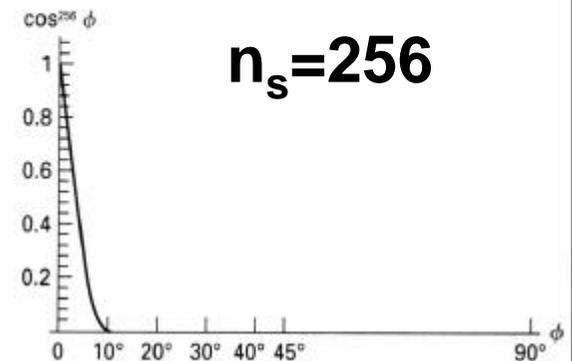
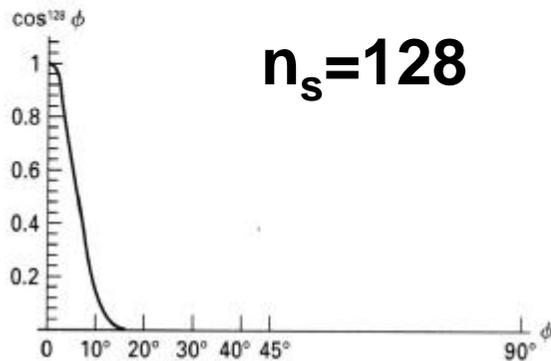
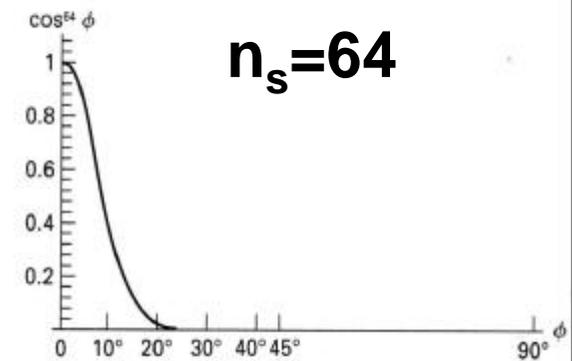
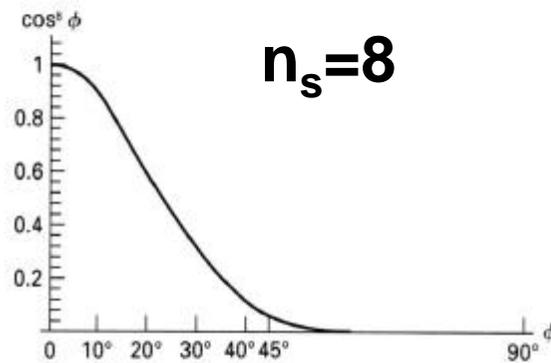
Dull Surface
(Small n_s)

Spiegelnde Reflexion (3)

Je größer n_s ,
desto kleiner
das Highlight



$$\cos^{n_s} \phi$$



Spiegelnde Reflexion (4)

Berechnung von R

$$R + L = (2N \cdot L)N$$

$$R = (2N \cdot L)N - L$$

Keine Winkel-
operationen!

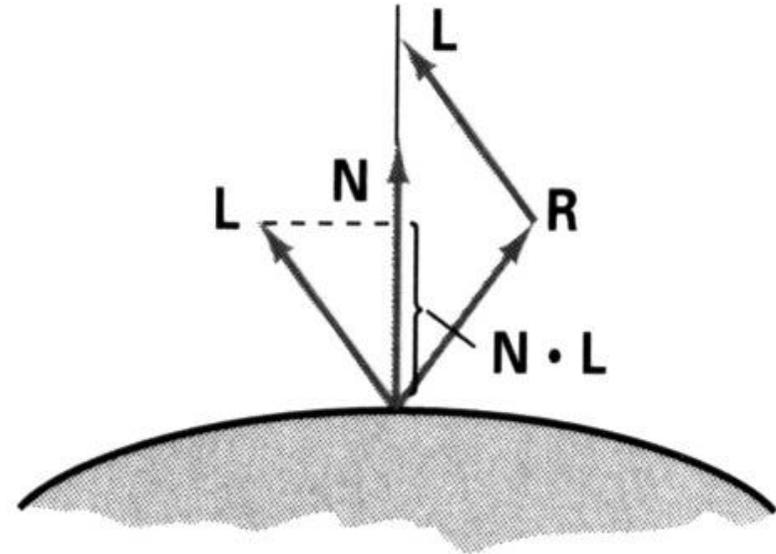
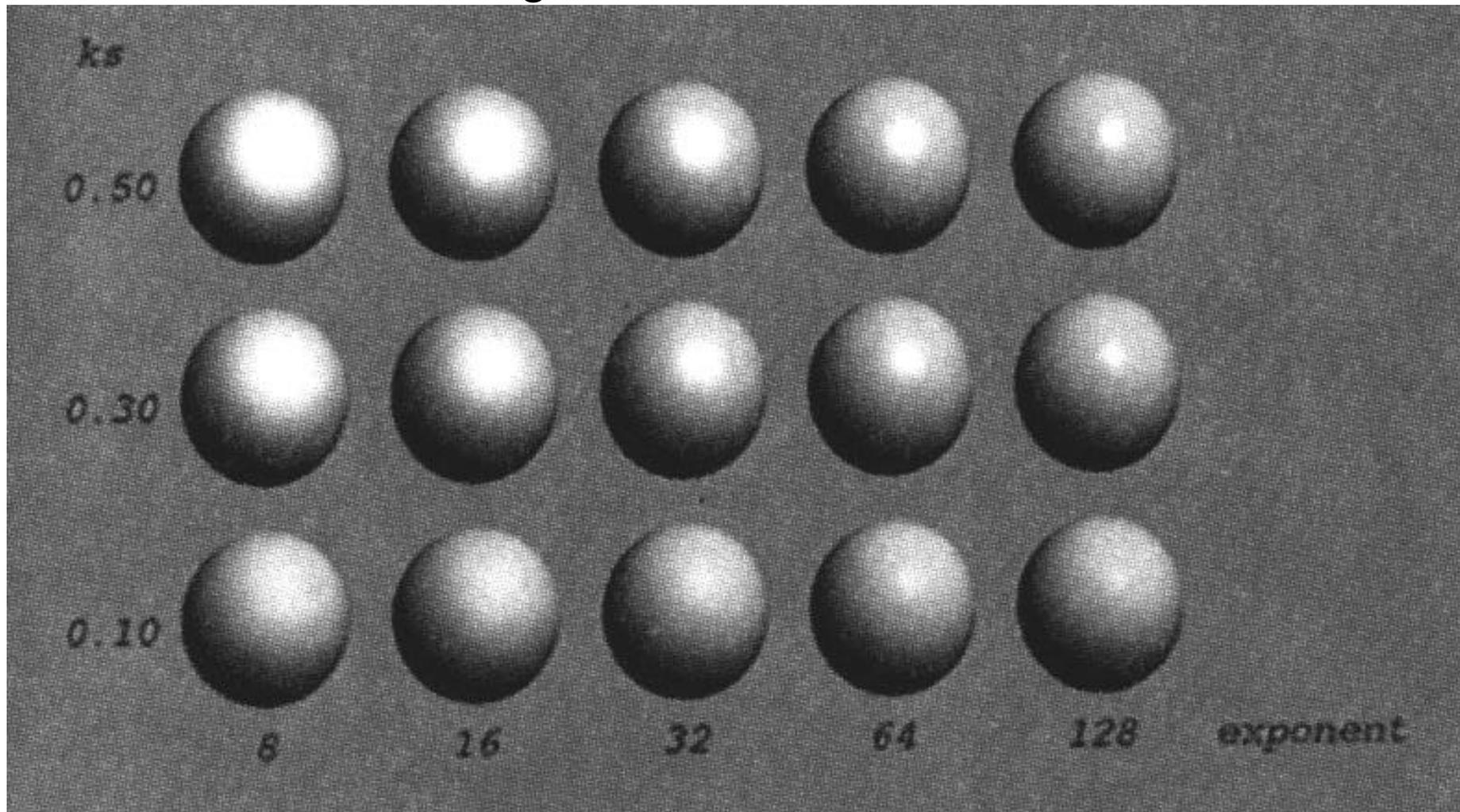


Figure 14-16

Calculation of vector R by considering projections onto the direction of the normal vector N .

Spiegelnde Reflexion (5)

Exponent vs. k_s



Spiegelnde Reflexion (6)

Variation von Blinn (Torrance):

$$I_{spec} = k_s I_l (N \cdot H)^{n_s}$$

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

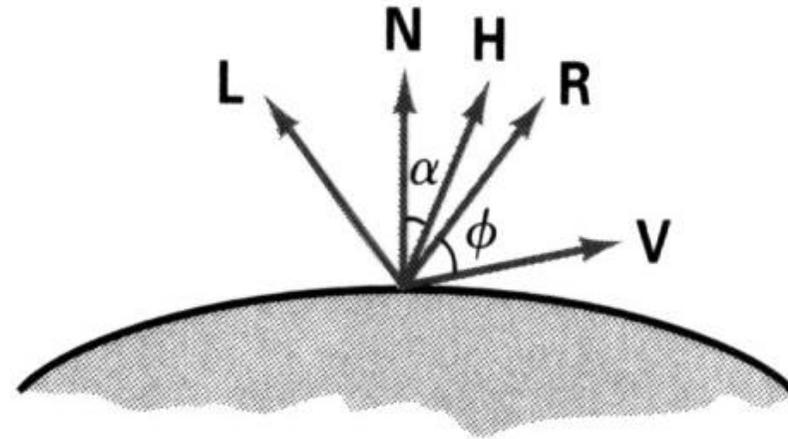


Figure 14-18

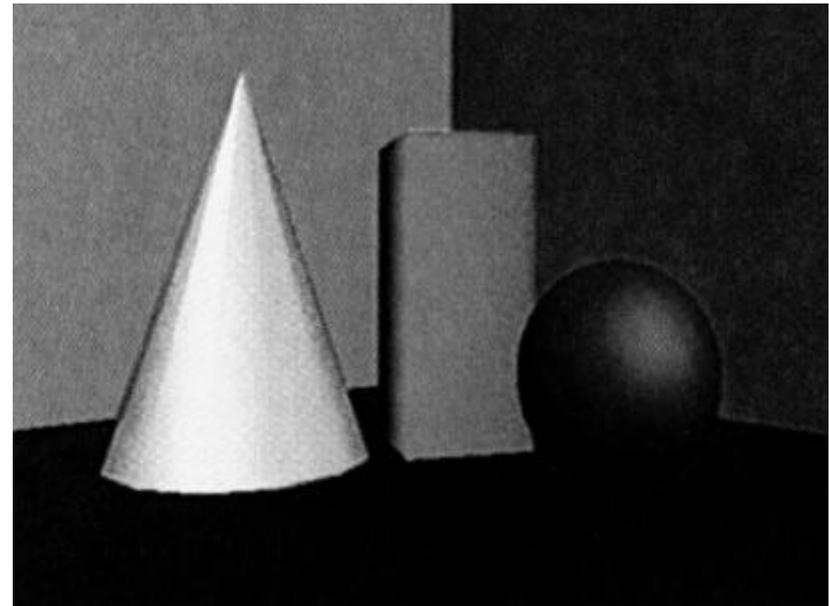
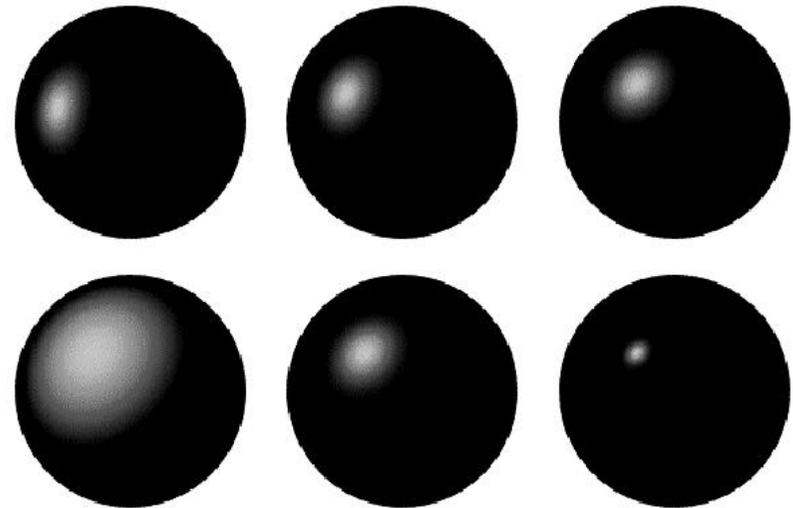
Halfway vector **H** along the bisector of the angle between **L** and **V**.

Spiegelnde Reflexion (7)

Abhängig v.
Betrachtungsrichtung

Abhängig von
Beleuchtungsrichtung

Sehr gutes
3D-Wahrnehmen



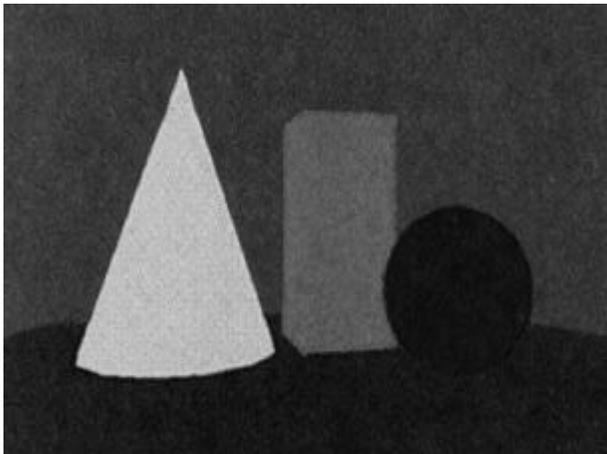
Kombination

Für eine Lichtquelle:

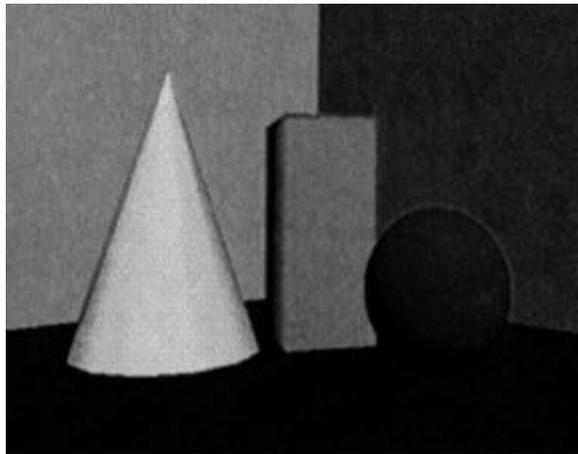
$$I_{\text{local}} = k_a I_a + k_d I_L \cos \theta + k_s I_L \cos^{n_s} \phi$$

Für mehrere Lichtquellen:

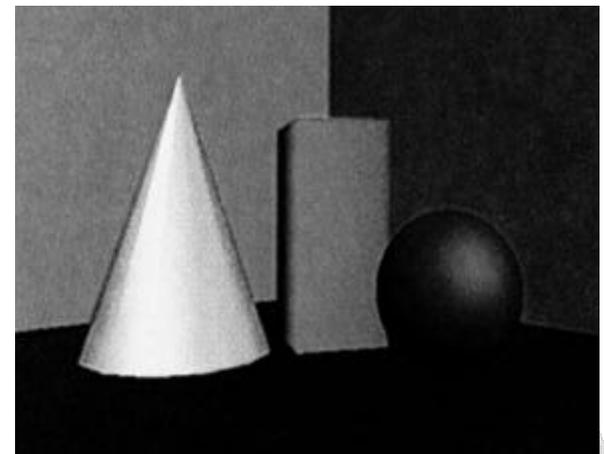
$$I_{\text{local}} = k_a I_a + \sum_{i=1}^{\#lights} (k_d \cos \theta + k_s \cos^{n_s} \phi) I_{L_i}$$



Henwig Häuser



Teil 7: Beleuchtung



7/10

Andere Aspekte

Nicht-isotropes Licht

Abnahme von Lichtintensität mit Entfernung

Transparenz (Snells Gesetz)

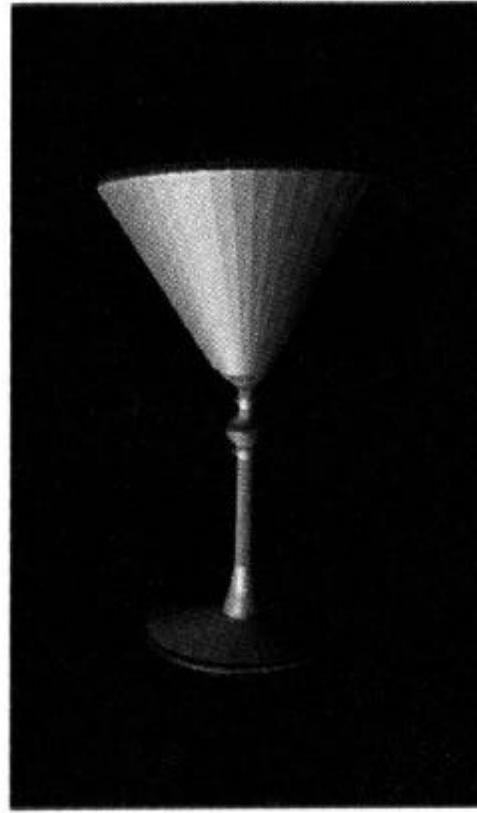
Schatten

Polygone schattieren

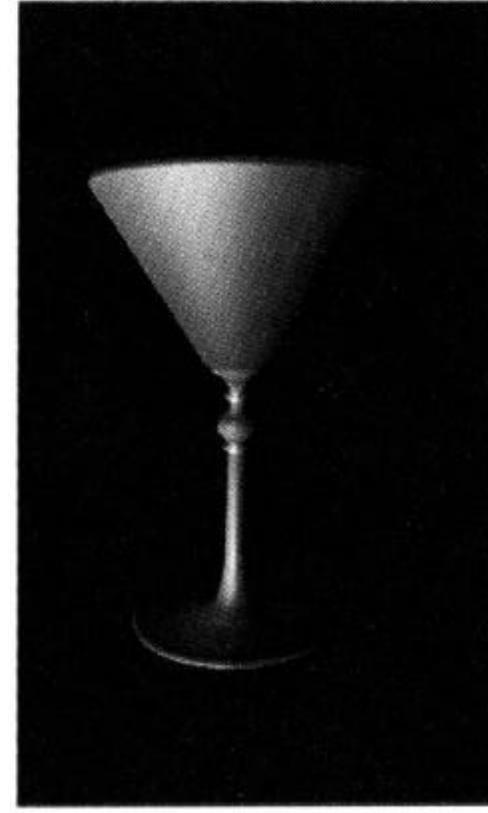
Anwendung von Beleuchtungsmodellen auf Polygone



(a)



(b)



(c)

Schattierungsmodelle

Polygone nach Transformationen und Abbildung mit Farbwerten füllen

Flat-Shading:

- ◆ Lambertsches Beleuchtungsmodell
- ◆ 1 Farbwert pro Polygon
- ◆ Vorteil: sehr schnelle Berechnung
- ◆ Nachteile: starker Mach-Band Effekt, unrealistisches Aussehen

Besser: Gouraud-, Phong-Shading

Gouraud Schattierung (1)

Interpolation von Helligkeiten

- ◆ gemittelte Normale in Ecken bestimmen
- ◆ dann dort Beleuchtungsmodell evaluieren
- ◆ Ergebnisse, i.e., Intensitäten dann linear interpolieren

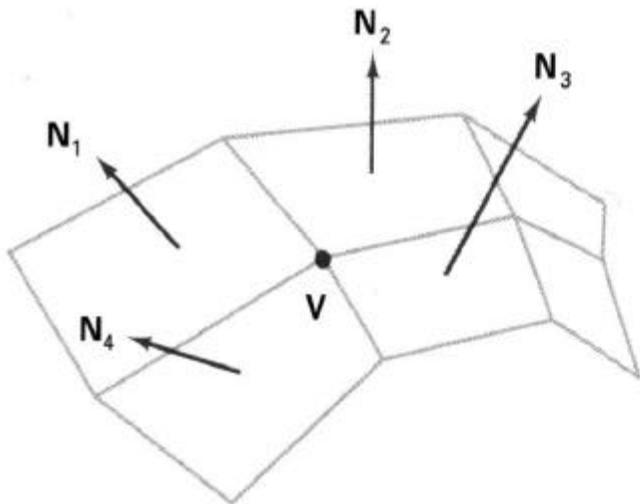


Figure 14-44

The normal vector at vertex V is calculated as the average of the surface normals for each polygon sharing that vertex.

$$N_V = \frac{\sum_{k=1}^n N_k}{\sum_{k=1}^n 1}$$

Gouraud Schattierung (2)

Helligkeiten interpolieren

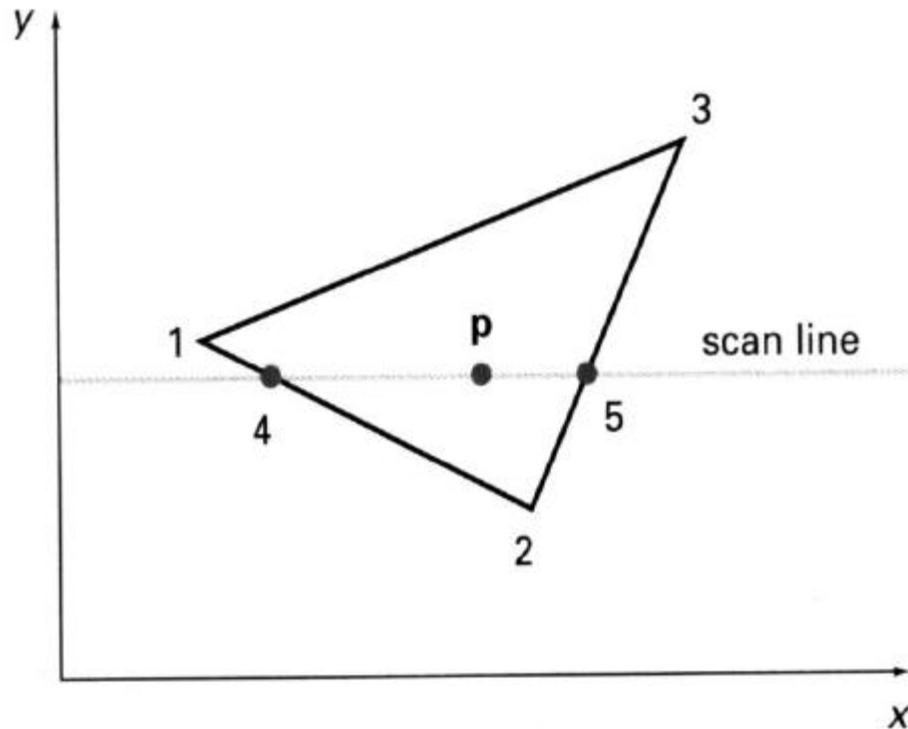


Figure 14-45

For Gouraud shading, the intensity at point 4 is linearly interpolated from the intensities at vertices 1 and 2. The intensity at point 5 is linearly interpolated from intensities at vertices 2 and 3. An interior point p is then assigned an intensity value that is linearly interpolated from intensities at positions 4 and 5.

$$I_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I_p = \frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} I_4 + \frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4} I_5$$

Gouraud Schattierung (3)

Inkrementelles Interpolieren

$$I = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I' = I + \frac{I_2 - I_1}{y_1 - y_2}$$

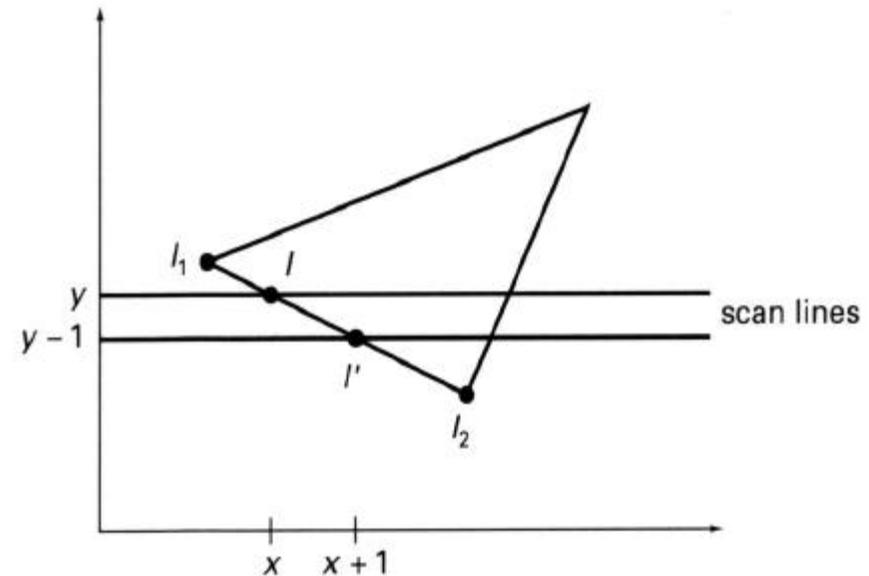


Figure 14-46
Incremental interpolation of intensity values along a polygon edge for successive scan lines.

Gouraud Schattierung (4)

Schattierung stetig (\neq flat shading)

Aber Mach-Band Effekte

Probleme
mit
high-lights

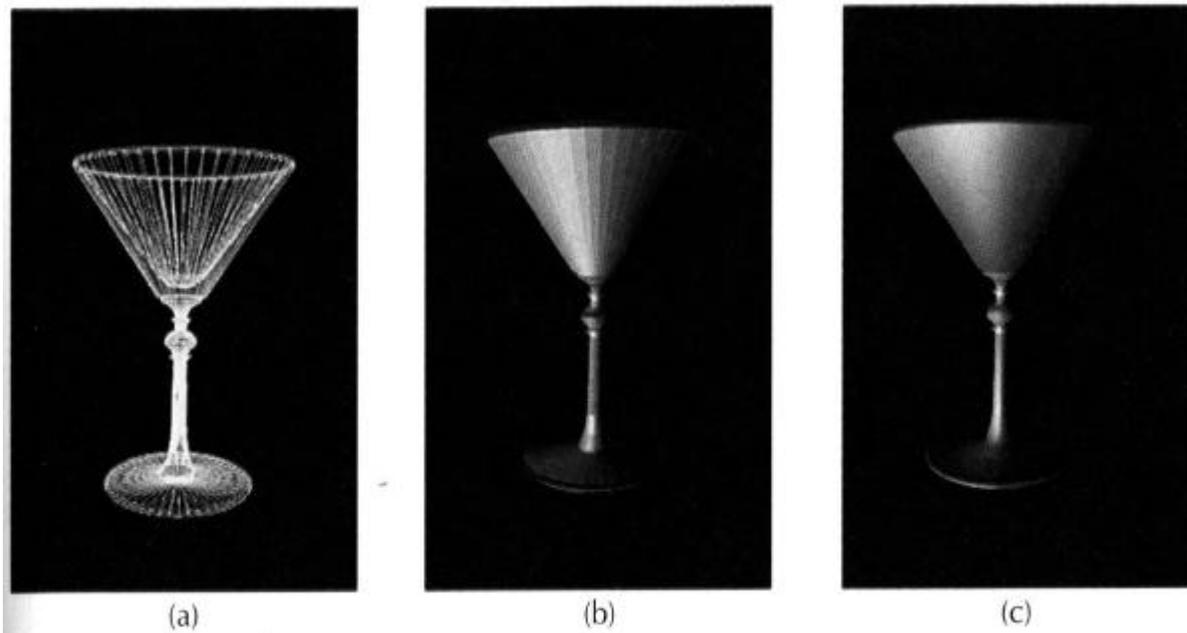
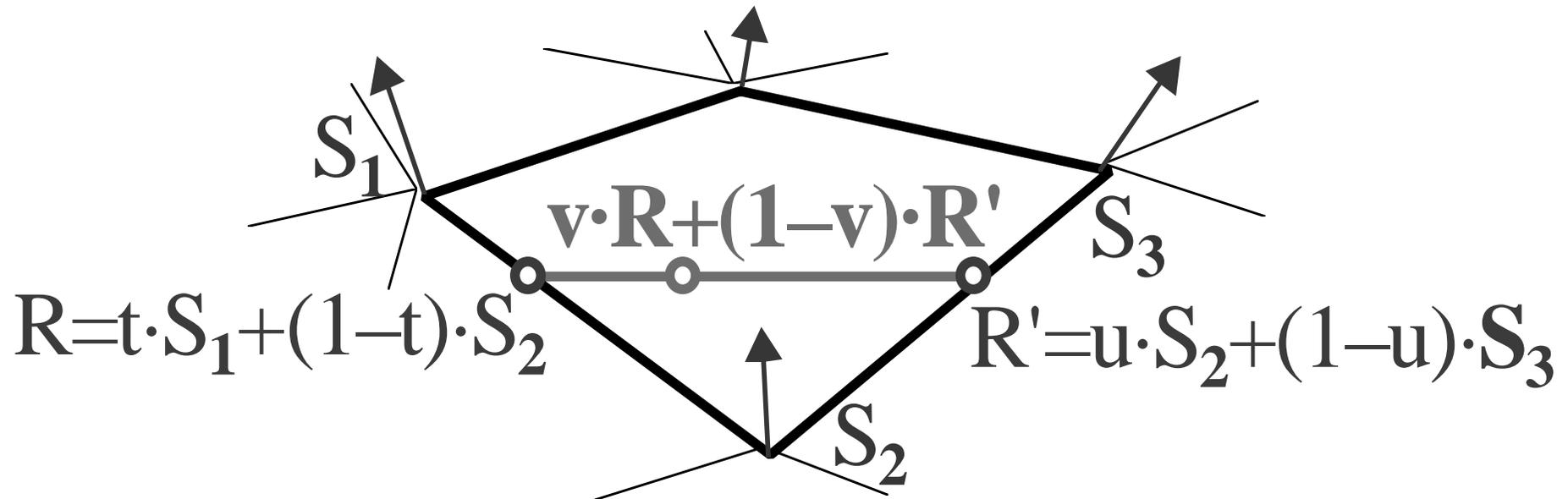


Figure 14-47

A polygon mesh approximation of an object (a) is rendered with flat shading (b) and with Gouraud shading (c).



1. Normale in den Ecken bestimmen durch Mittel der angrenzenden Polygone
2. Beleuchtungsmodell evaluieren und entlang der Polygonkanten interpolieren
3. Innerhalb des Polygons entlang scan-lines interpolieren

Phong Schattierung (1)

Normalvektoren interpolieren

- ◆ wieder Normale in den Ecken bestimmen
- ◆ dann aber diese Normale interpolieren
- ◆ Beleuchtungsmodell bei jeder scan-line evaluieren

Phong Schattierung (2)

Normalvektoren interpolieren

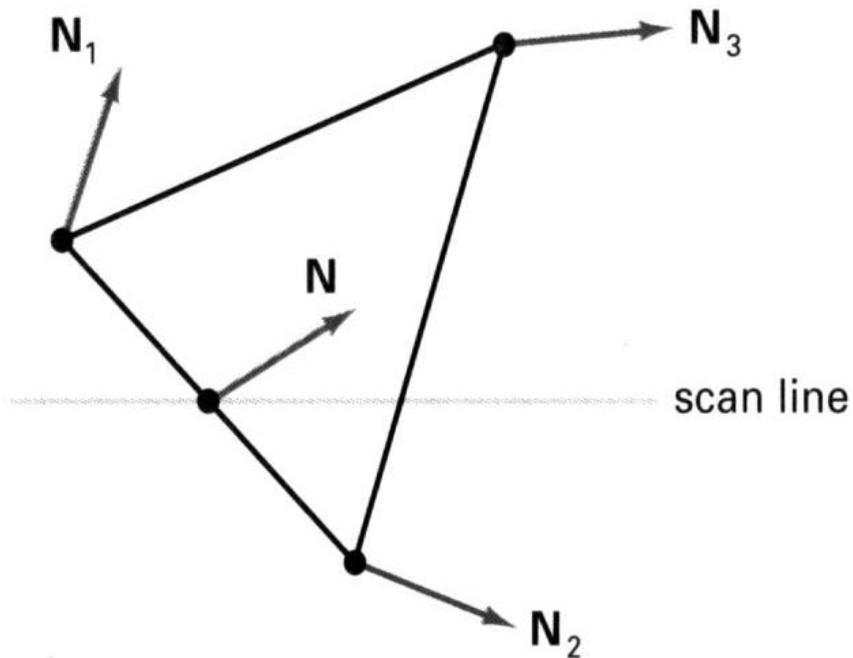


Figure 14-48
Interpolation of surface normals
along a polygon edge.

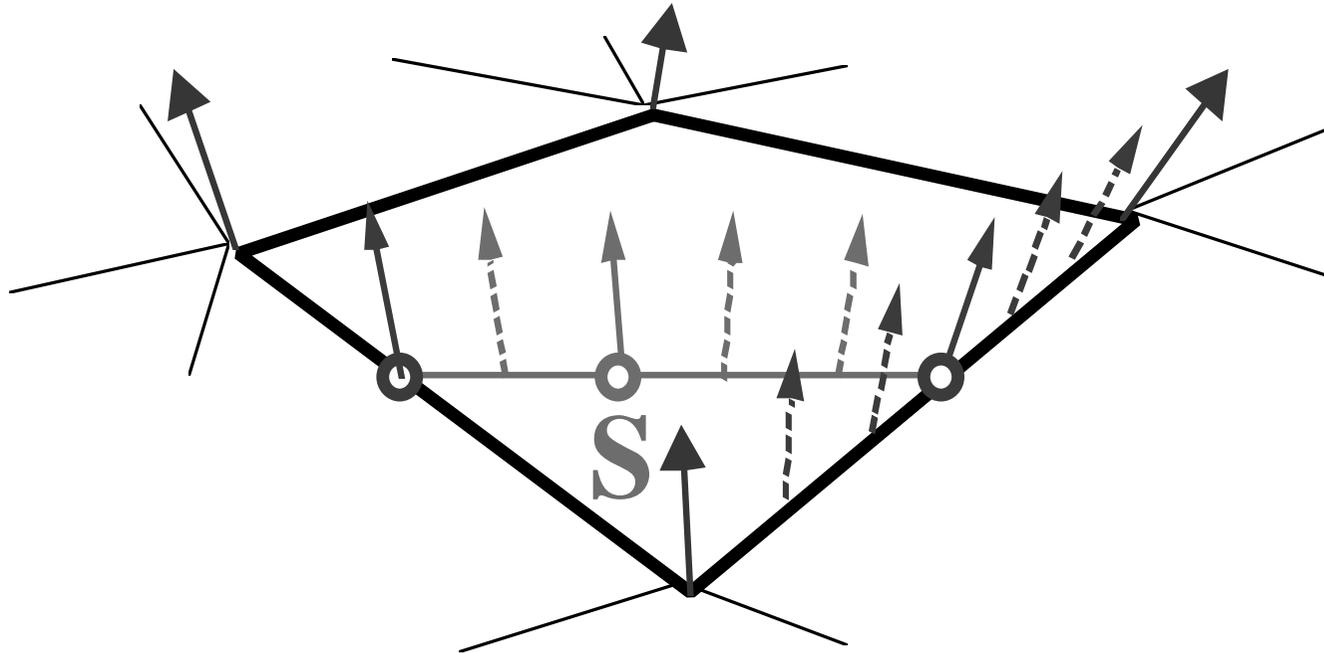
$$N = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} N_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} N_2$$

Phong Schattierung (3)

Inkrementeller Normalvektor-update entlang von scan-lines und vertikal

Vergleich zu Gouraud Schattierung

- ◆ High-lights besser
- ◆ kaum Mach-Band Effekte
- ◆ teurere Berechnung



- 1. Normale in den Ecken bestimmen**
- 2. Normale entlang Polygonkanten interpolieren**
- 3. Normale innerhalb Polygon entlang scanlines interpolieren und fuer jedes pixel Beleuchtungsmodell evaluieren**

Probleme bei Interpolationen

Polygon-Silhouette

Interpolationsartefakte durch die vorgegebene „scanline“-Richtung

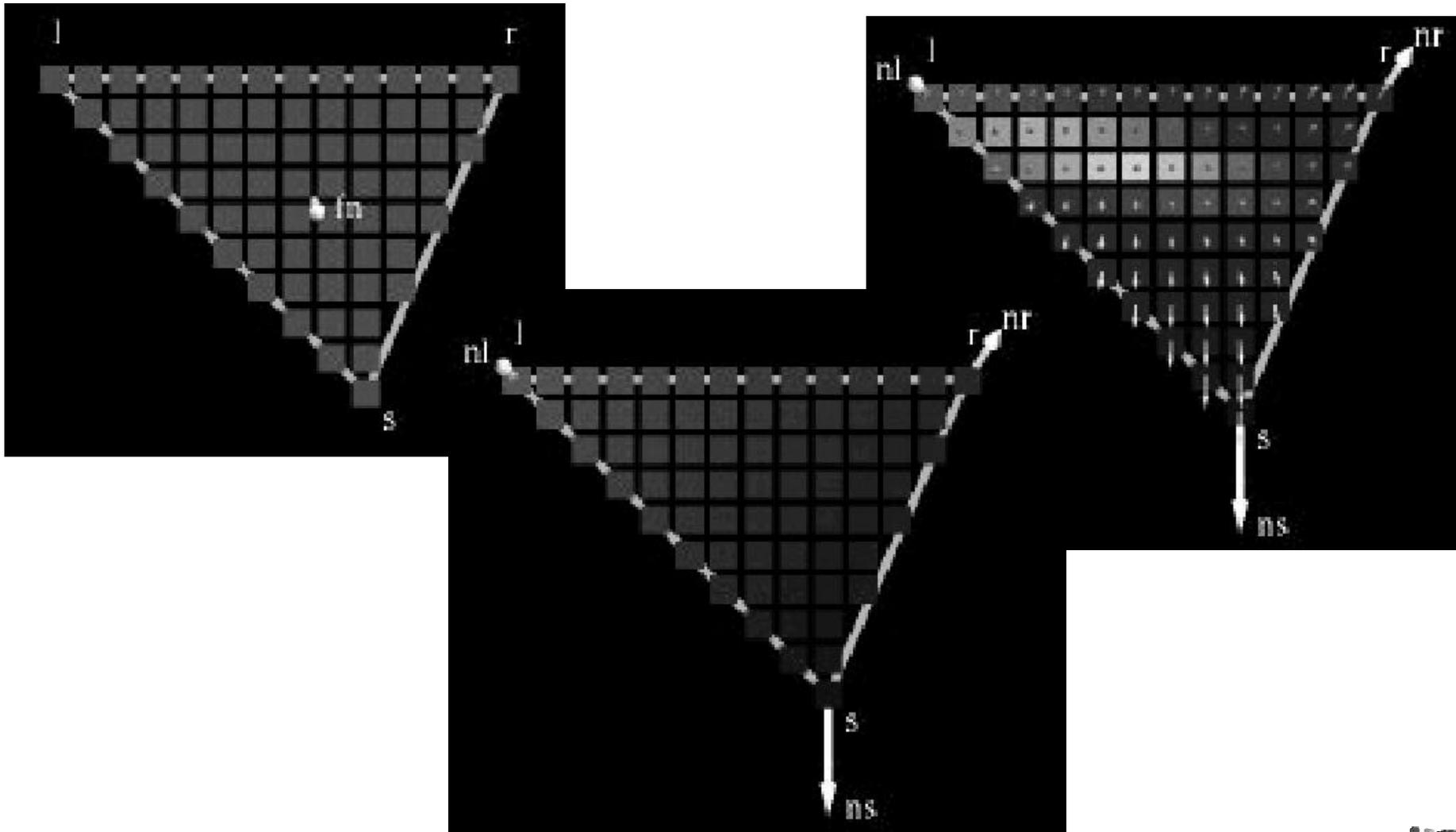
- ◆ Orientierungsabhängigkeit
- ◆ Perspektivische Abhängigkeit

Unrepräsentative Eckpunktnormalen

**Abhilfe: feinere Triangulierung
(führt zu komplexen Modellen)**

Vergleich (1)

Flat Shading vs. Gouraud vs. Phong



Vergleich (2)

Flat Shading vs. Gouraud vs. Phong

