

Licht und Schatten Visualisieren mit dem PC

Andreas Asperl

Visualisieren

- Grundlagen der Visualisierung
- Lichteinflüsse
- Materialien
- Anwendungen
- Tipps und Tricks

Grundlagen der Visualisierung

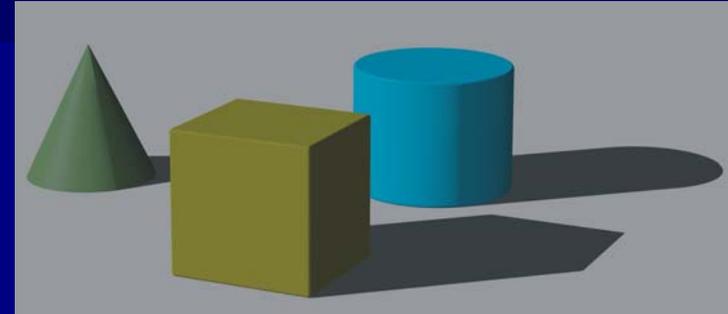
In der Computergraphik werden folgende Modelle verwendet:

- Farbmodell (RGB, CMY)
- Lichtquellenmodell (direktes und indirektes Licht)
- Beleuchtungs- und Schattierungsmodelle

Lichtquellen

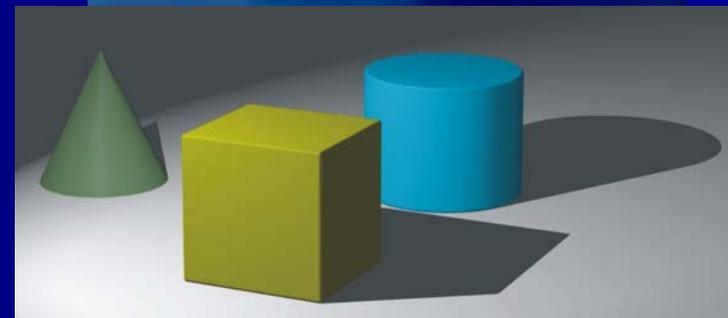
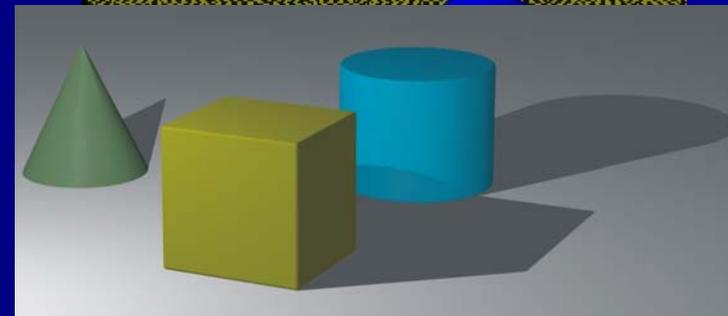
Indirektes Licht:

- Ambientes Licht
(Hintergrundbeleuchtung)

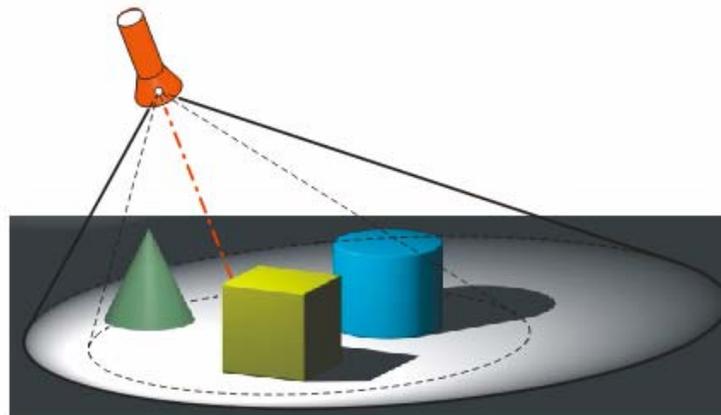
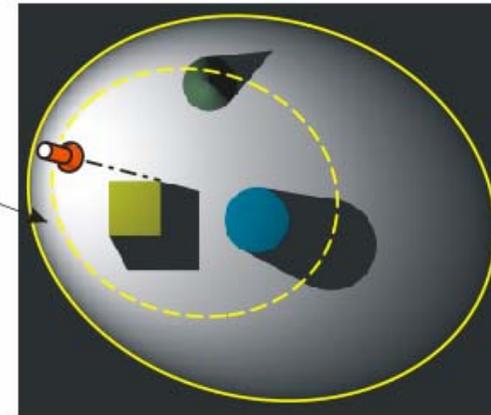
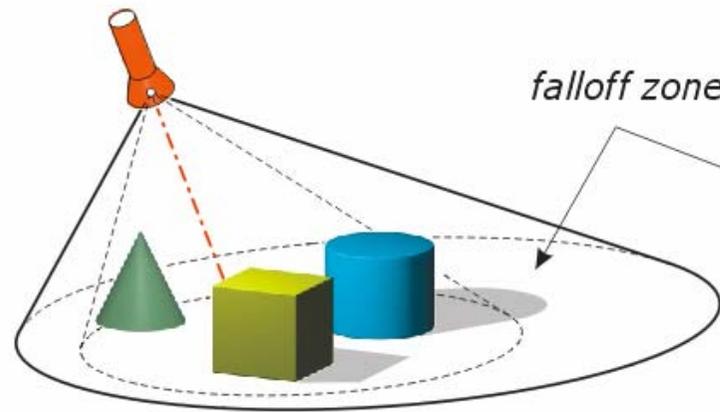


Direktes Licht:

- Entferntes Licht
(Sonne, Parallelbeleuchtung, ...)
- Punktlicht
(Glühlampe ohne Lichtkegel)
- Spotlicht
(Scheinwerfer, Taschenlampe, ...)
- Flächenlicht
(Neonröhren, ...)

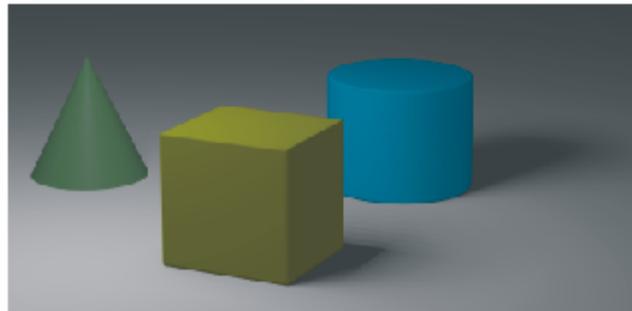
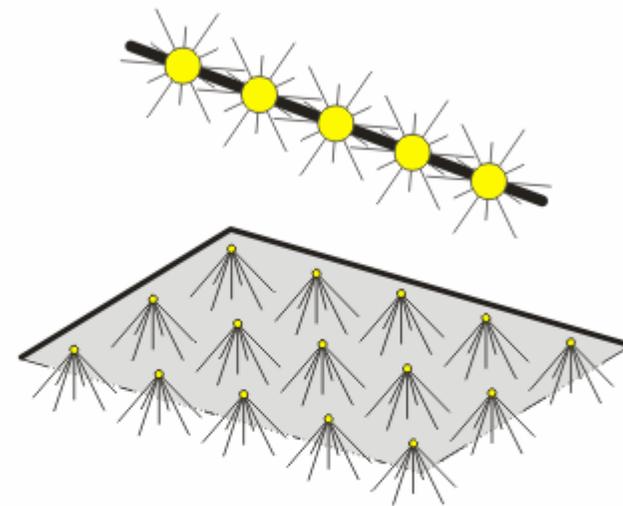
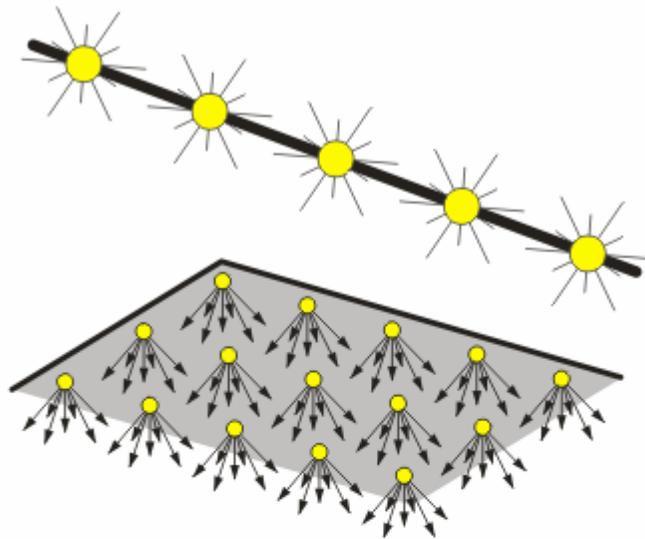


Lichtquellen (Spotlight)



Begriffe

Lichtquellen (Flächenlicht)



Begriffe

Beleuchtungs- und Schattierungsmodelle

Lokale Modelle:

- Ambiente Reflexion
- Diffuse Reflexion
- Spiegelnde Reflexion
- Konstante Schattierung
Flatshading
- Kontinuierliche Schattierung
Gouraud-shading
- Phongschattierung

Globale Modelle:

- Raytracing
- Radiosity

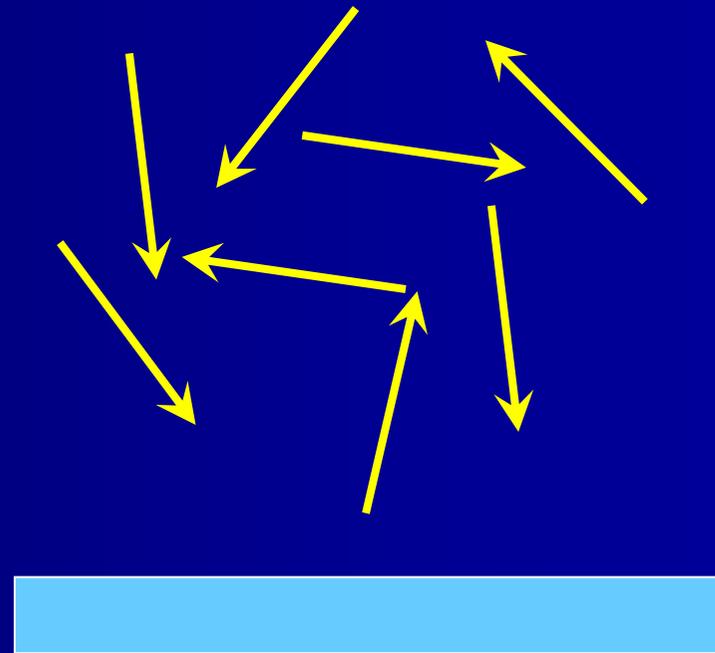
Abhängig vom Beobachterstandpunkt, der Materialbeschaffenheit und dem einfallenden Licht wird ein Reflexionswert berechnet. Da meist sehr rechenintensiv, werden vereinfachte Modelle verwendet.

Ambiente Reflexion

- Indirektes Licht kommt aus allen Richtungen
- In jedem Punkt gleiche Intensität
- Steuert Grundhelligkeit der Szene
- abhängig vom Material (Materialkonstante k_a)

$$I = I_a * k_a$$

- Kein physikalisches Modell, nur empirische Werte



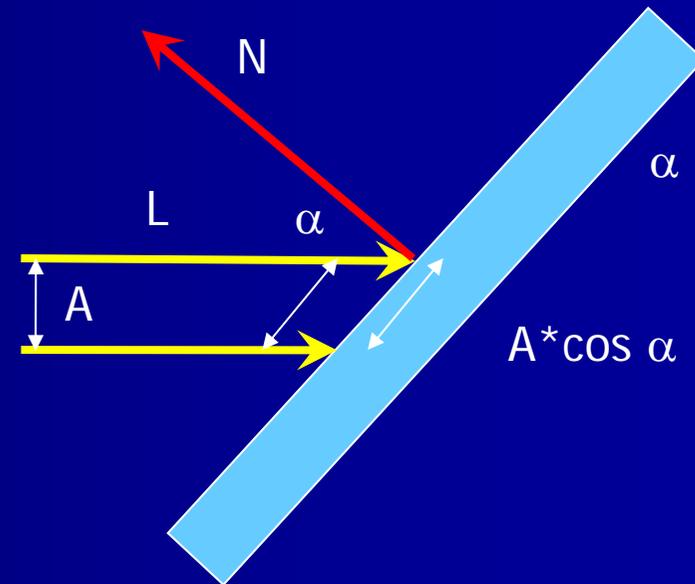
Diffuse Reflexion

Setzt direktes Licht voraus!

Lambert's
Beleuchtungsmodell:

Lichtintensität der
beleuchteten Fläche
nimmt um den Faktor
 $\cos \alpha$ ab.

$$I = I_p * k_d * \cos \alpha$$



Die zu beleuchtende Fläche wird
größer, die Lichtintensität pro
Flächeneinheit daher kleiner.

Diffuse Reflexion

$$I = I_p * k_d * \cos \alpha$$

I_p ... Intensität der Lichtquelle

k_d ... diffuse Reflexionskonstante

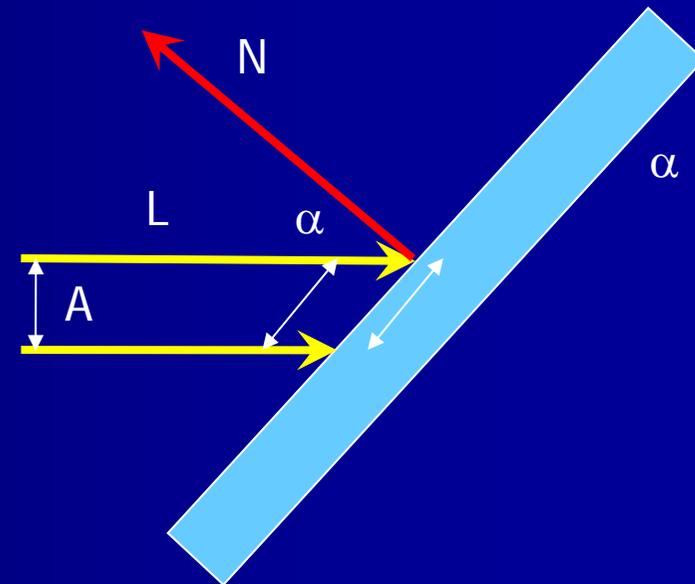
Dieser Wert liegt zwischen 0 und 1 und regelt „wie viel Körperfarbe reflektiert wird“.

Bei normierten Vektoren \mathbf{L} und \mathbf{N} gilt:

$$\cos \alpha = \mathbf{L} \cdot \mathbf{N}$$

und damit

$$I = I_p * k_d * (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})$$



Die zu beleuchtende Fläche wird größer, die Lichtintensität pro Flächeneinheit daher kleiner.

Diffuse Reflexion

Bemerkungen:

- Diffuse Reflexion ist unabhängig vom Beobachterstandpunkt
- wird meist mit ambierter Beleuchtung (Reflexion) kombiniert

$$I = I_a * k_a + I_p * k_d * (L.N)$$

- Berücksichtigung der Entfernung der Lichtquelle zum Objekt (Tiefeneindruck) mit einer Funktion $f(d)$

$$I = I_a * k_a + f(d) * I_p * k_d * (L.N)$$

- Meist verwendet man dabei die Funktion $f(d) = 1/r^2$, wobei r der Abstand zur Lichtquelle ist → Problem: Lichtintensität nimmt zu rasch ab

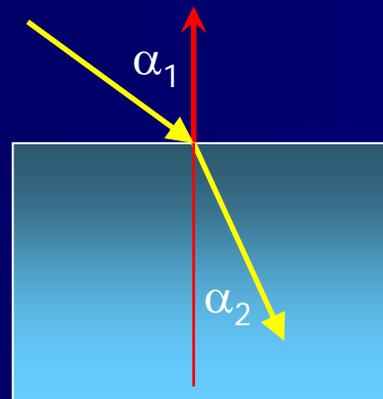
Spiegelnde Reflexion

Die meisten Materialien sind keine perfekten Lambert-Reflektoren, d.h. bei gewissen Lichteinfallswinkeln wird das Licht nicht mehr in alle Richtungen gestreut; es treten Reflexionen auf.

Im Extremfall (bei idealen Spiegeln) wird das einfallende Licht nur in eine Richtung reflektiert.

Physikalisches Modell

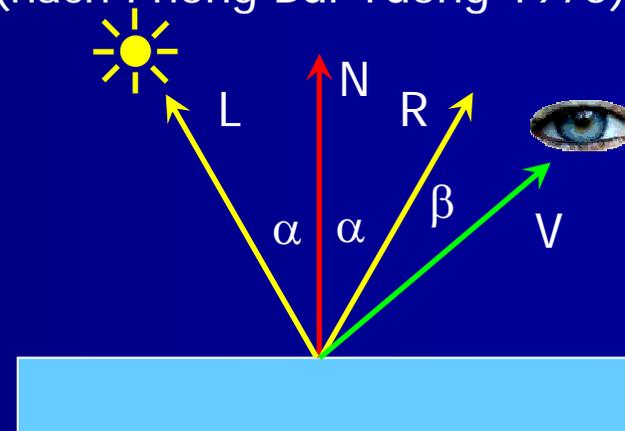
(nach Snellius Willebrordus 1621)



$$\sin(\alpha_1)/\sin(\alpha_2) = n_1/n_2$$

Empirisches Modell

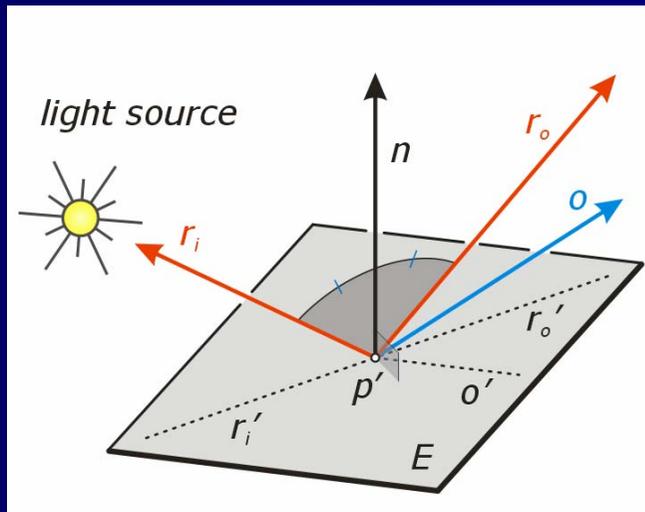
(nach Phong Bui-Tuong 1975)



$$I = I_s * k_s * \cos^n(\beta)$$

Spiegelnde Reflexion

Das Phongmodell nähert mit dem Term $\cos^n(\beta)$ rein heuristisch die Streuung des Lichts an.



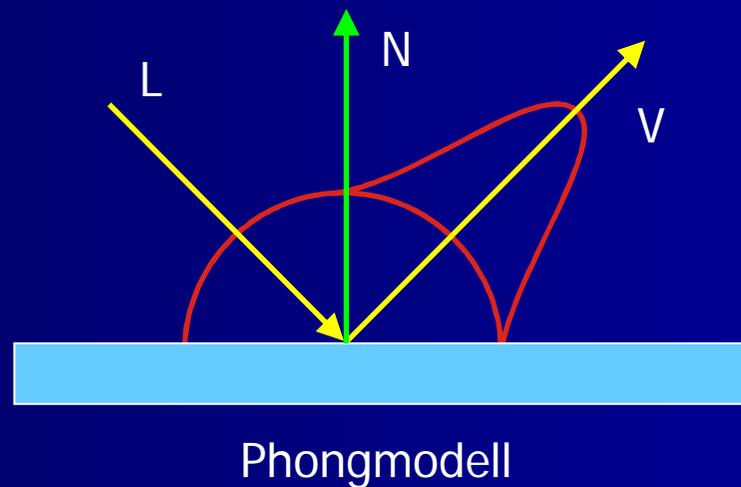
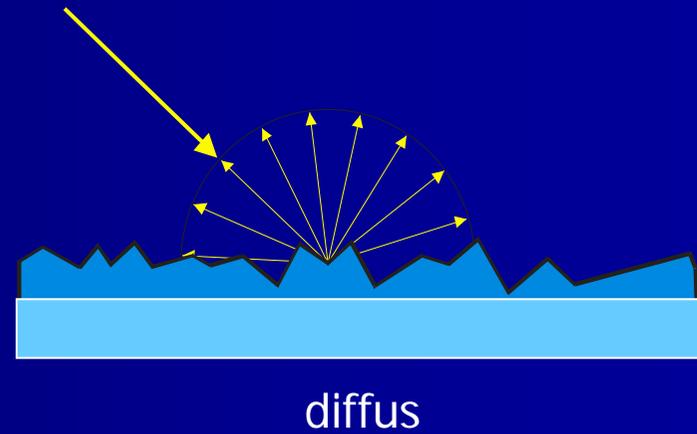
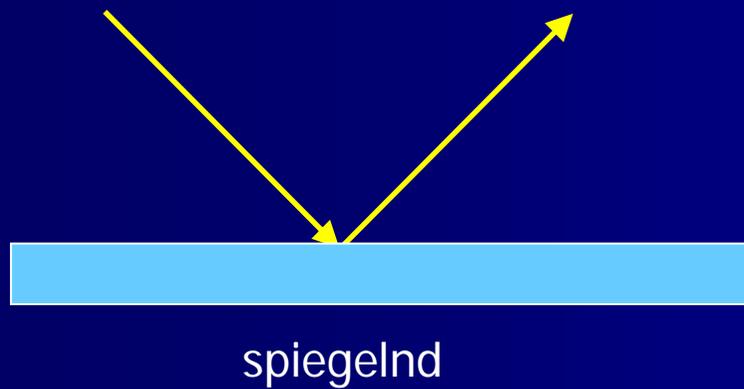
$$I = I_s * k_s * \cos^n(\beta)$$

Phong ging davon aus, dass maximale Reflexion bei gleichem Ein- und Ausfallswinkel auftritt. Weicht der Ausfallswinkel α um den Winkel β ab, so nimmt die Reflexion ab.

n ... Materialkonstante, legt die Stärke der Abnahme bei wachsendem β fest („Spiegelneigung“)

k_s ... Spiegelreflexionskoeffizient

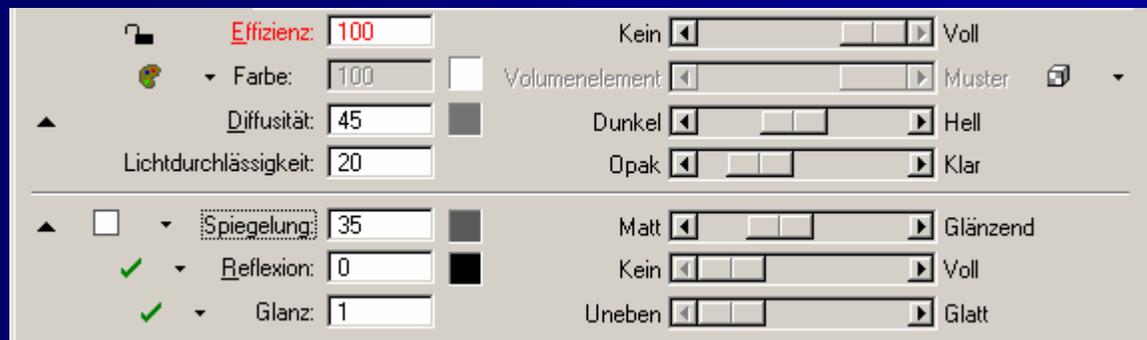
Spiegelnde Reflexion



Zusammenfassung

Bemerkungen:

- Diffuse Reflexion ist unabhängig vom Beobachterstandpunkt
- Spiegelnde Reflexion hängt vom Beobachterstandpunkt ab



- Diffusität, Lichtdurchlässigkeit und Spiegelung werden z.B. prozentuell angegeben und sollten (bei realistischen Materialien) den Gesamtwert von 100% (Effizienz) nicht überschreiten

Schattierungsmodelle

Um Rechenzeit zu sparen wird nicht in jedem Punkt einer Fläche die Normale berechnet. Man verwendet Polygongitter und interpoliert zwischen den einzelnen Eckpunkten.

Konstante Schattierung

Flat shading

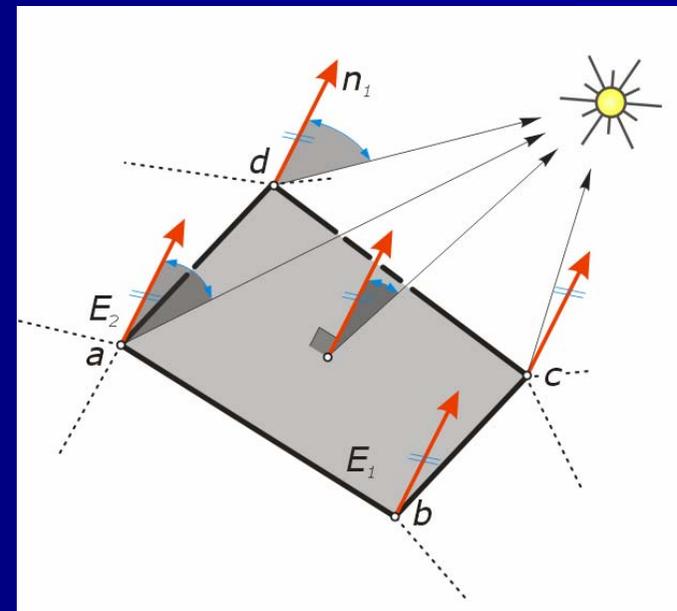
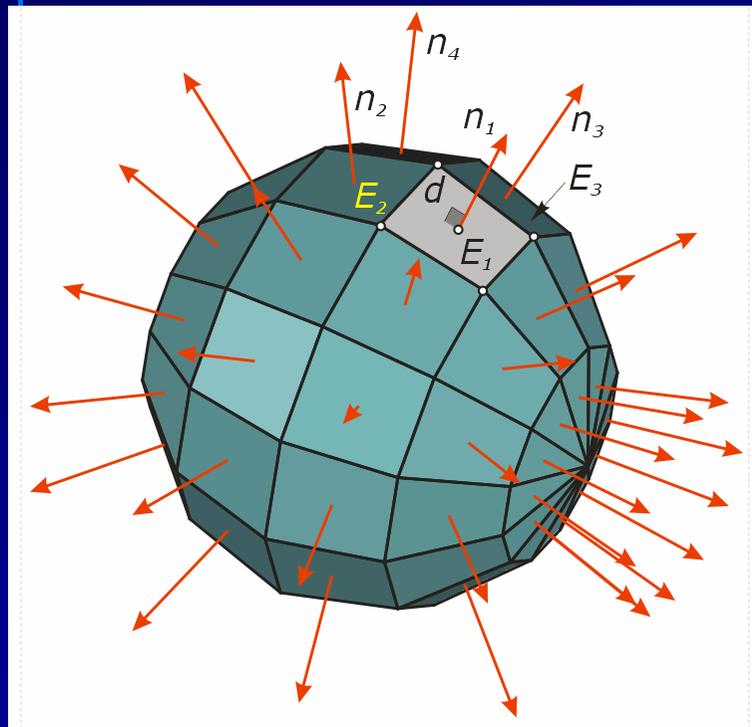


Von jedem Polygon wird die Flächennormale einmal berechnet

Jedes Polygon hat nur einen Farbwert

Starke Intensitätssprünge

Schattierungsmodelle

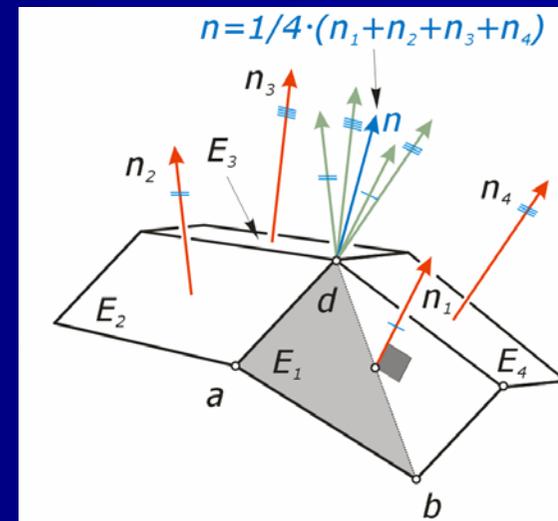
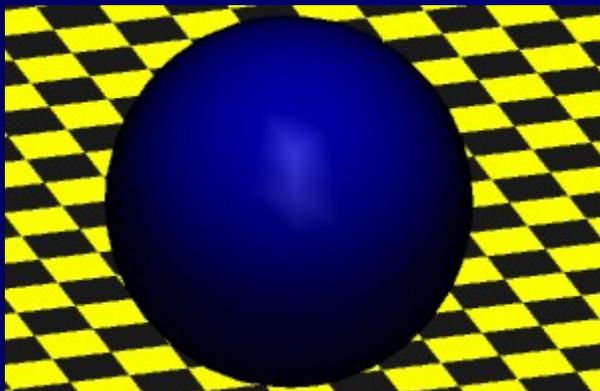


Schattierungsmodelle

Zur Glättung der Intensitätssprünge berechnet man zuerst in den Polygonecken die „gemittelte Flächennormale“. Dazu werden die normierten Flächennormalen der angrenzenden Polygone addiert und durch ihre Anzahl geteilt.

Kontinuierliche Schattierung

Gouraud shading



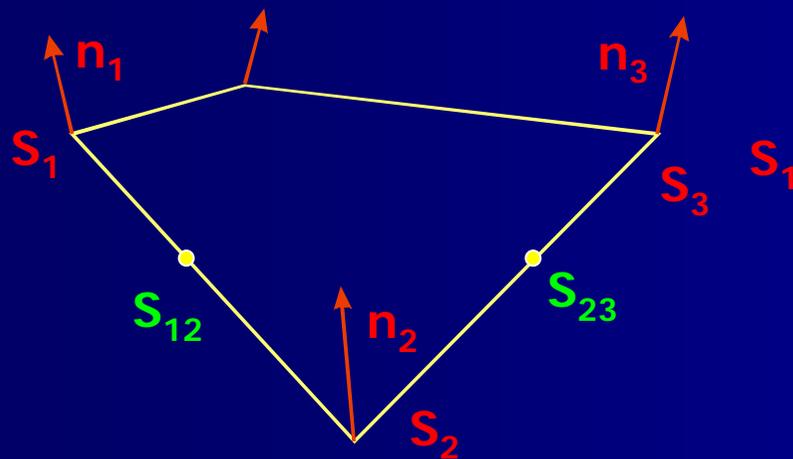
$$n = \frac{1}{4}(n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

Schattierungsmodelle

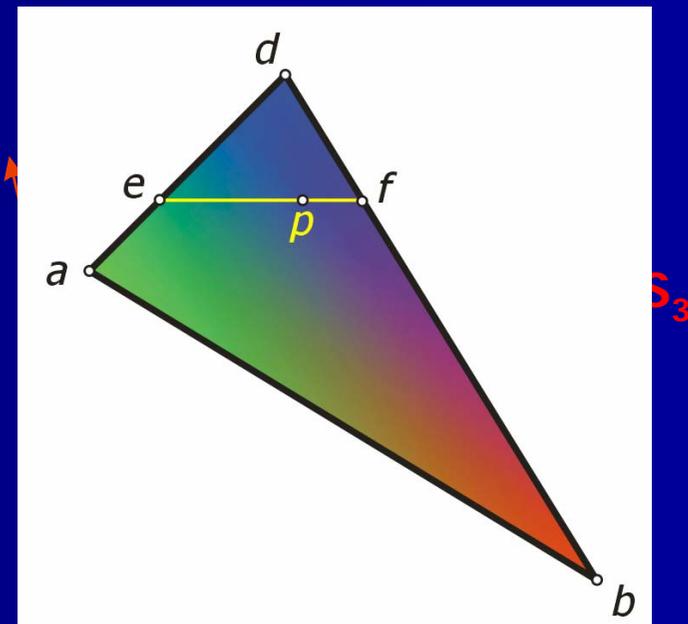
Anschließend interpoliert man die **Intensität** entlang der Kanten und dann entlang der Rasterzeilen.

Kontinuierliche Schattierung

Gouraud shading



$$S_{12} = t * S_1 + (1 - t) * S_2$$

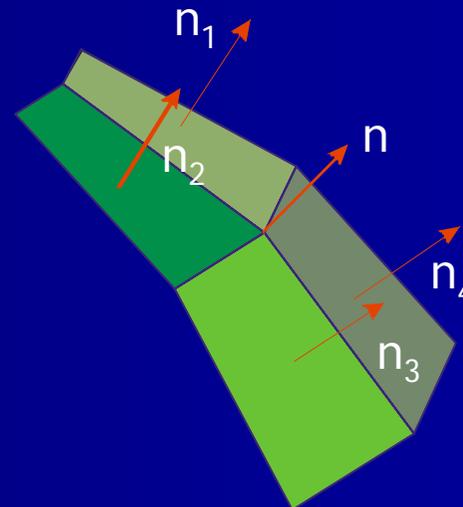
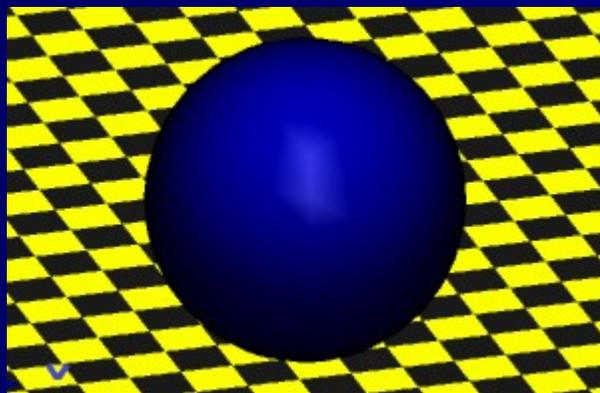


$$I = u * S_{12} + (1 - u) * S_{23}$$

Schattierungsmodelle

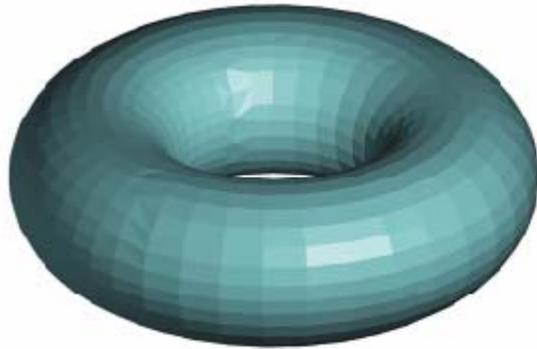
Ein genaueres Verfahren zur Glättung der Intensitätssprünge besteht darin, nicht nur die Intensität zu interpolieren sondern die **interpolierte Normale** zu berechnen.

Phong Schattierung

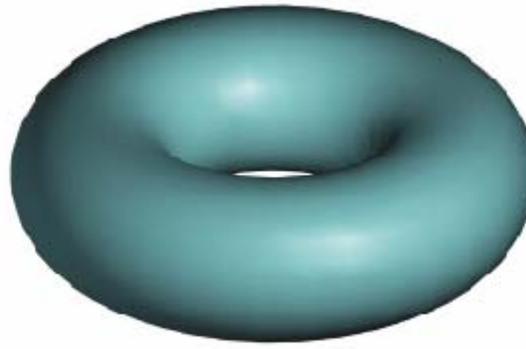


$$n = \frac{1}{4}(n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

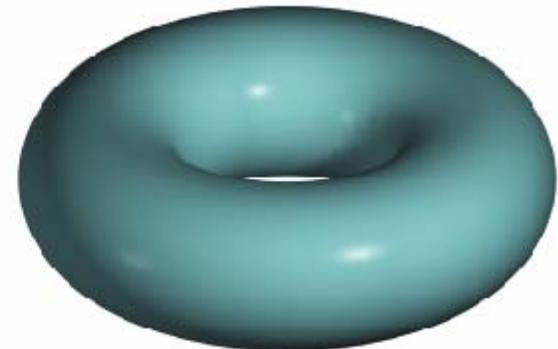
Schattierungsmodelle



flat shading



Gouraud shading

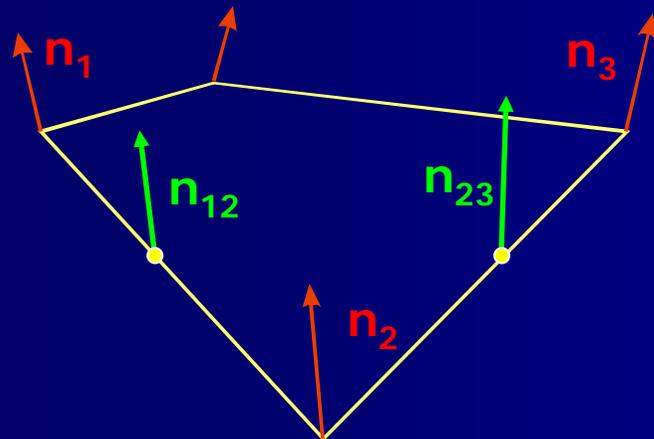


Phong shading

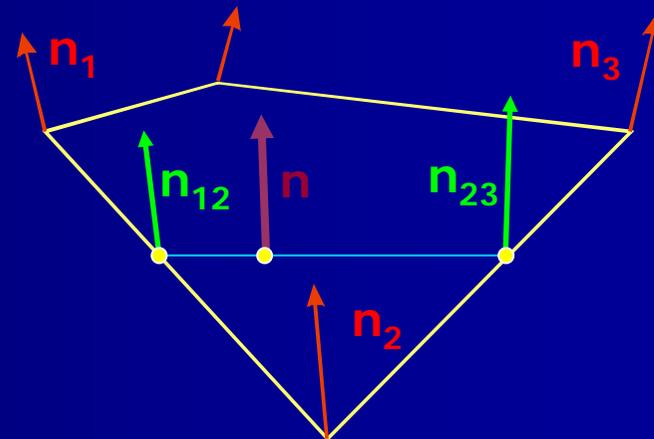
Schattierungsmodelle

Anschließend interpoliert man die Normalen entlang der Kanten und dann entlang der Rasterzeilen und berechnet zu jeder Flächennormalen das Beleuchtungsmodell extra.

Phong Schattierung



$$n_{12} = t * n_1 + (1 - t) * n_2$$



$$n = u * n_{12} + (1 - u) * n_{23}$$

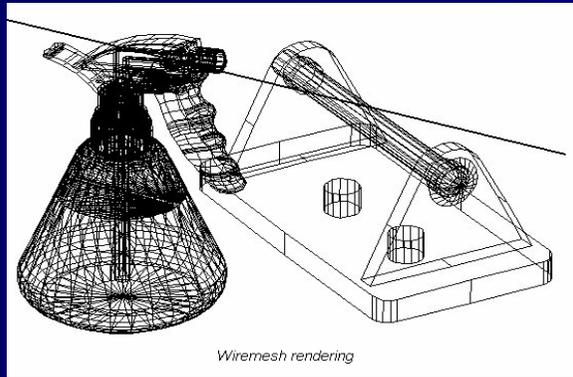
Schattierungsmodelle

Vergleiche Gouraud und Phong-Schattierung

- Bei Gouraudschattierung können Glanzpunkte verloren gehen („Verschmierung“)
- Bei Phongschattierung liegt eine lineare Interpolation der Normalvektoren vor (anstelle der Farbwerte) → Rechenaufwand
- Spiegelungen innerhalb eines Polygons werden bei Phongschattierung richtig dargestellt
- Bei Gouraudschattierung bleibt der Umriss eckig
- Keine Spiegelungseffekte, falsche Schlalschatten

Schattierungsmodelle

Vergleiche Gouraud und Phong-Schattierung



Wiremesh rendering



Constant-shaded rendering



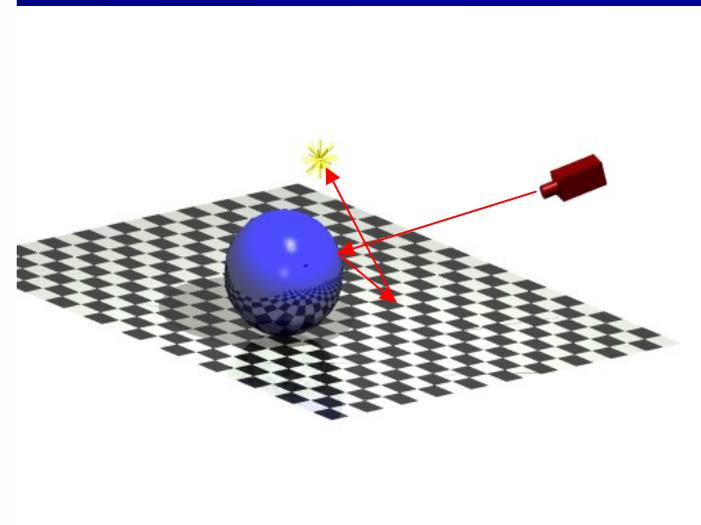
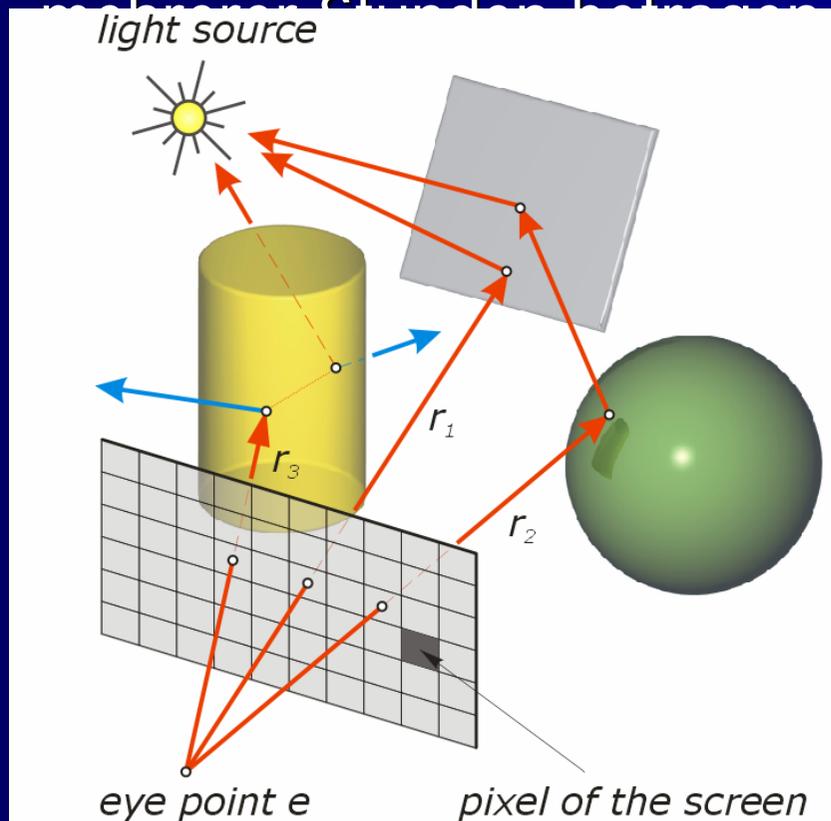
Smooth-shaded rendering



Phong-shaded rendering

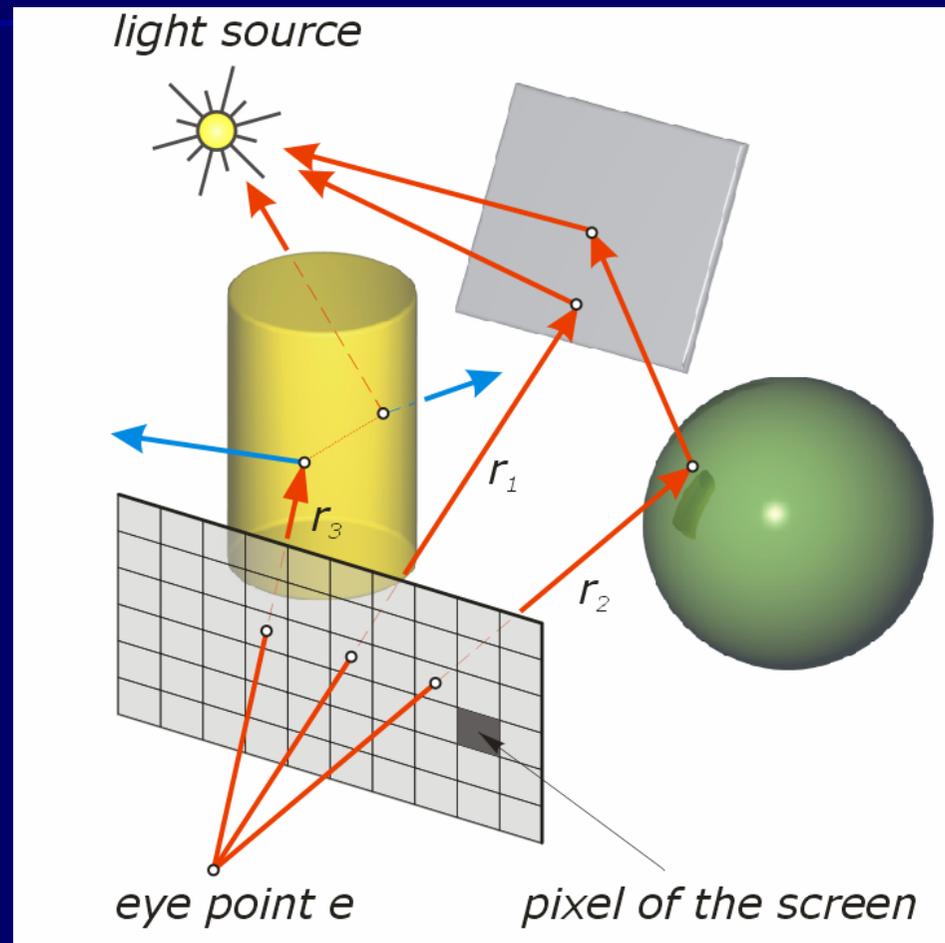
Globale Schattierungsmodelle

Globale Schattierungsmodelle berücksichtigen auch reflektiertes und transmittiertes Licht mit dem Nachteil, dass die Rechenzeit selbst für ein einzelnes Bild schon mehreren Stunden betragen kann.



Das Auge (Kamera) verlaufen, werden nur ein Pixel des Bildschirms) erreichen.

Raytracing



Globale Schattierungsmodelle

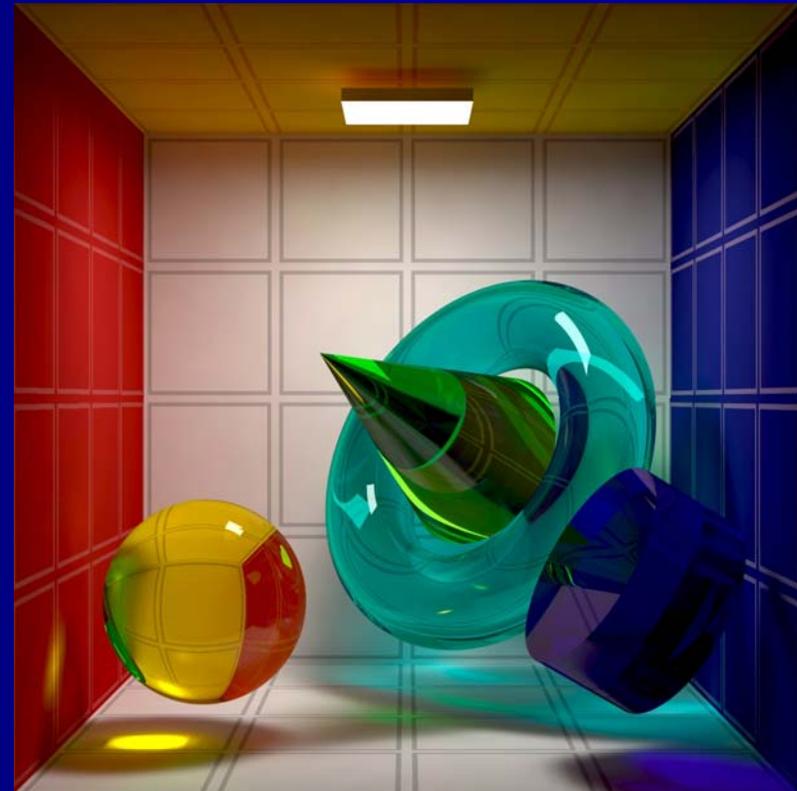
Bei diesem Verfahren wird von der Erhaltung der Lichtenergie in einem geschlossenen Raum ausgegangen.

Radiosity

Die Szene wird in viele kleine Flächen zerlegt und für jede dieser Flächen wird die Strahlung B_j berechnet.

Dabei wird die gegenseitige Lage aller Flächen und eventuell vorhandene Blockierungen berücksichtigt.

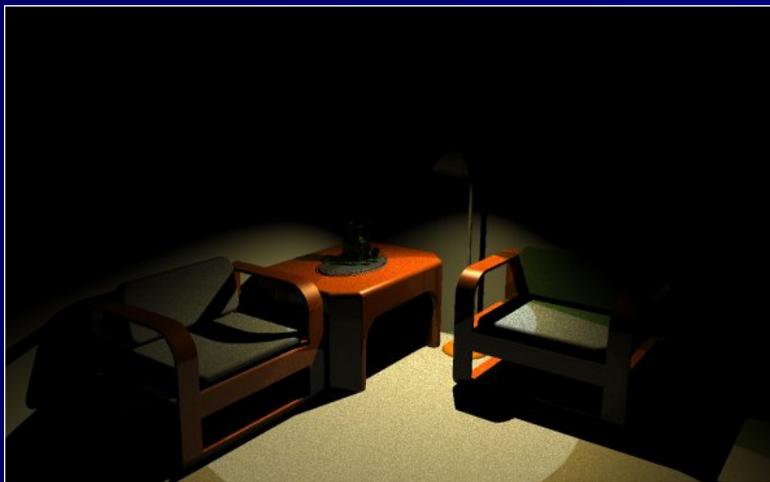
Dies führt zu einem (riesigen) linearen Gleichungssystem, welches so gelöst werden muss, dass für die gesamte Szene ein Energiegleichgewicht herrscht.



Globale Schattierungsmodelle

Dieses Verfahren berechnet eine globale Lichtverteilung welche diffuse Lichteffekte (wie z.B. Farbabstrahlungen, Kaustikeffekte, ...) berücksichtigt.

Partikel tracer



Szene ohne Partikel trace Lösung



Szene mit Partikel trace Lösung

Globale Schattierungsmodelle

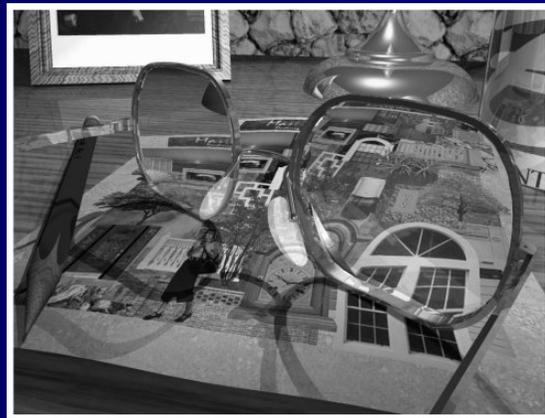
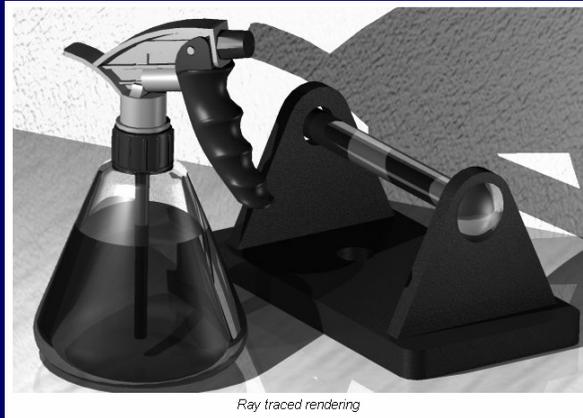
Partikel tracer

Von den Lichtquellen werden Partikel (Superphotonen) entsandt. Diese treffen auf Oberflächen, wo sie entweder absorbiert oder reflektiert werden. Jeder Auftreffpunkt einer Oberfläche wird in einer Liste gespeichert und trägt so zur Intensitätsbestimmung jedes einzelnen Flächenpunktes bei.

Particle tracing ist unabhängig vom Beobachterstandpunkt; eine einmal errechnete Lösung kann für alle Raytracinglösungen derselben Szene verwendet werden.

Globale Schattierungsmodelle

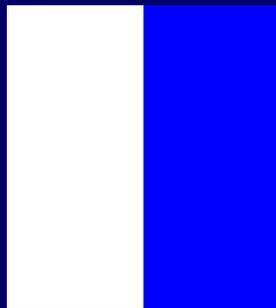
Vergleich Phong Schattierung - Raytracing



Materialien

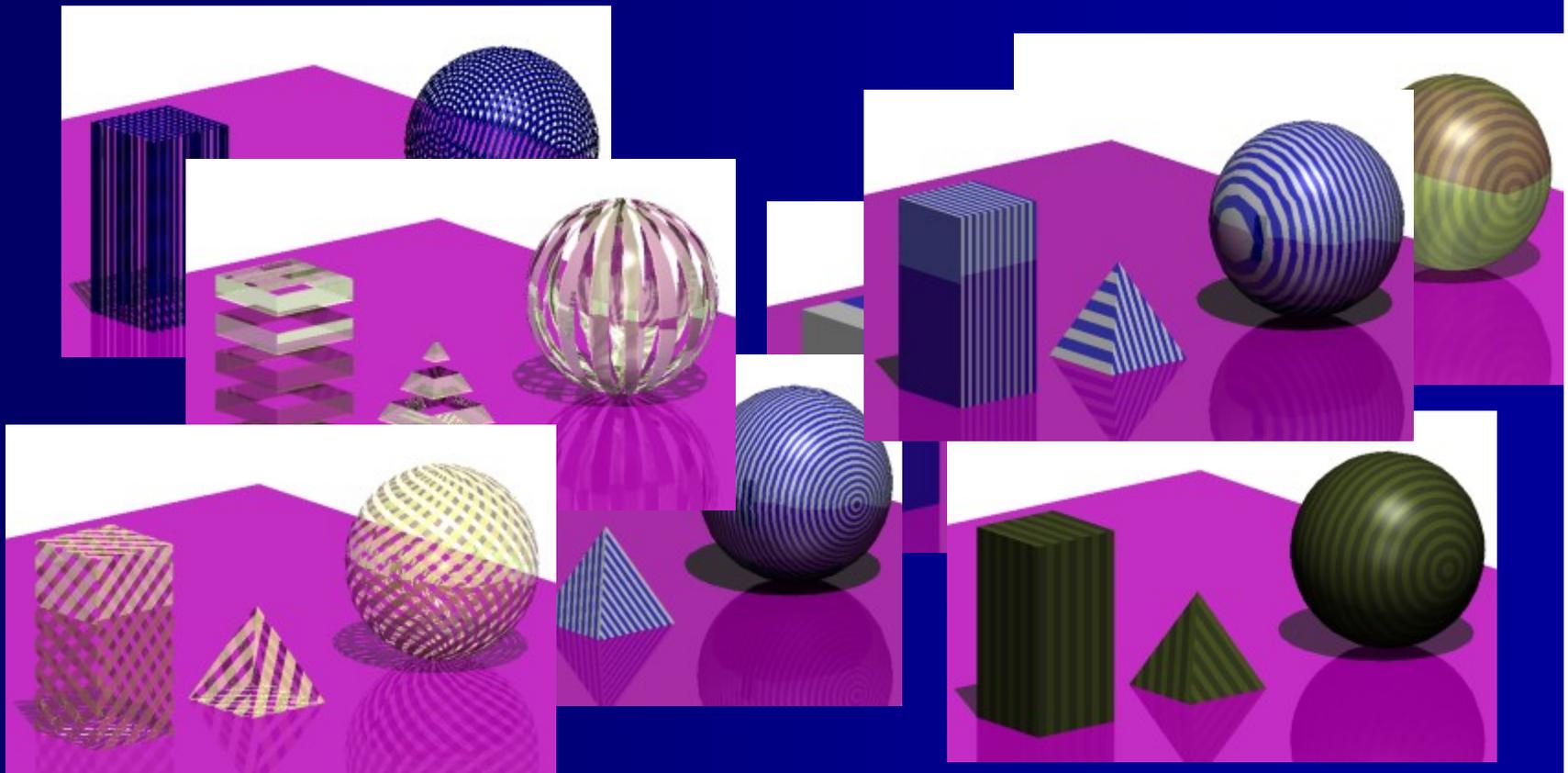
Neben den **Oberflächeneigenschaften** Diffusität, Lichtdurchlässigkeit, Spiegelung, Reflexion, Glanz und Transparenz bestimmt die **Farbe** oder (anstelle bzw. in Kombination mit der Farbe) eine **Textur** (Bild) das Aussehen eines Materials.

Als Textur eignen sich Fotografien realer Objekte oder auch (mit Bildbearbeitungsprogrammen) selbst erstellte Grafiken.



Materialien

Erzeuge mit Hilfe des gegebenen Musters geeignete Texturen zum Erstellen folgender Szenen:



Materialien

Oberflächenerhebungen und Dellen können zusätzlich mit Hilfe von Bump maps (dabei handelt es sich um SW-Bilder) erzeugt werden.

Als Textur eignen sich wiederum SW-Fotografien realer Objekte oder auch (mit Bildbearbeitungsprogrammen) selbst erstellte Grafiken.



Diese Form der Texturierung eignet sich besonders gut für raue Oberflächen.