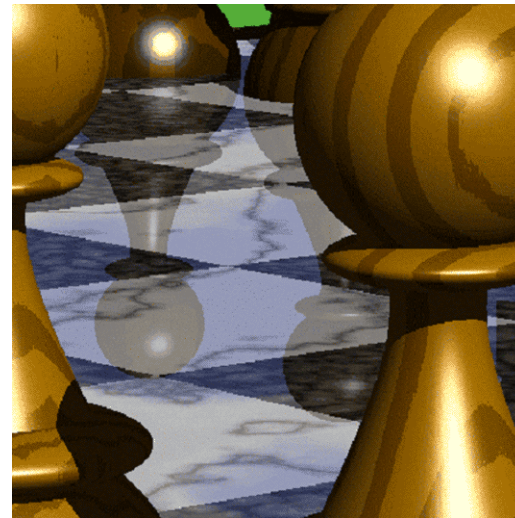


Computer-Graphik 1

Lighting & Shading



G. Zachmann

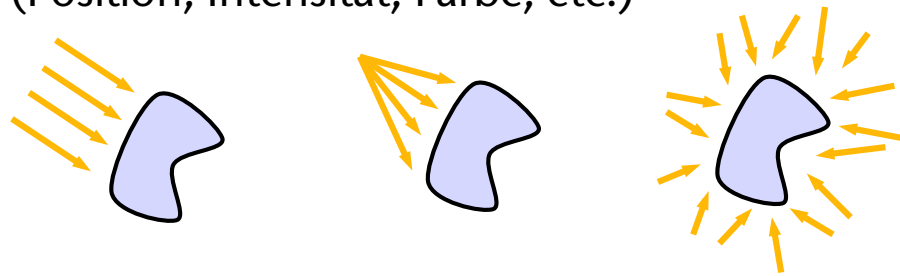
University of Bremen, Germany

cgvr.informatik.uni-bremen.de

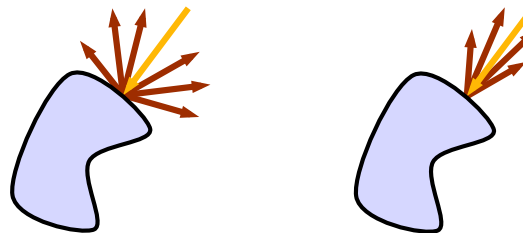
Beleuchtungsmodelle (*lighting models*)

- Definition "**Beleuchtungsmodell**": Vorschrift zur Berechnung der **Farb- und Helligkeitswerte** an Punkten auf der Oberfläche von Objekten
 - Grundlage sind physikalische Gesetze
 - Modelliert werden Einflüsse von:

1. **Lichtquellen** (Position, Intensität, Farbe, etc.)

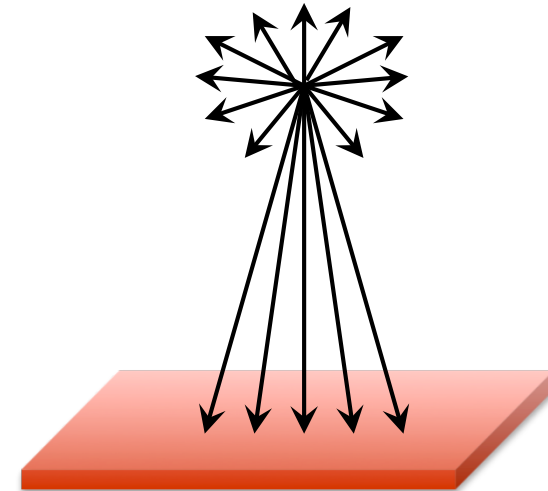


2. **Objektoberfläche** (Geometrie, Reflexionseigenschaften)

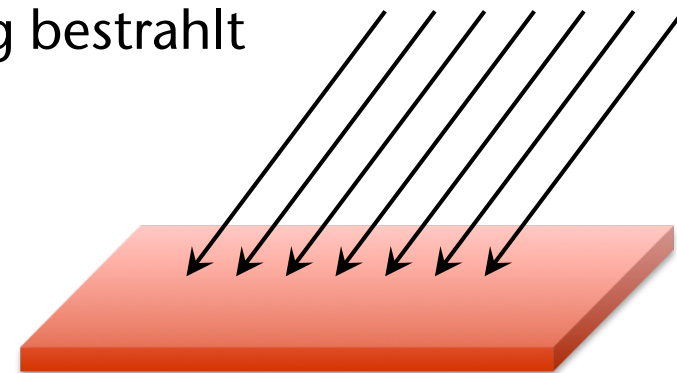


- Für Echtzeitanwendungen verwendet man sehr einfache Modelle

- **Punktlichtquelle** (*point light*): strahlt in alle Richtungen gleichmäßig ab
 - Wird eindeutig charakterisiert durch
 1. **Position** &
 2. $I(\lambda)$ = abgestrahltes Spektrum
 = Intensität abhängig von der Wellenlänge



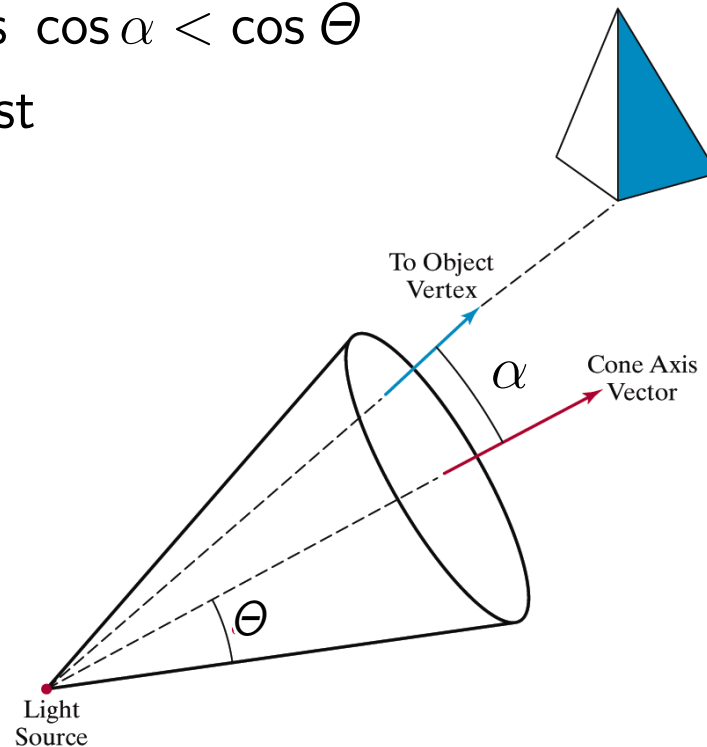
- **Richtungslichtquelle** (*directional light*): jeder Punkt im Raum wird aus derselben Richtung bestrahlt
 - Charakterisiert durch **Richtung** & $I(\lambda)$
 - Beispiel: Sonne



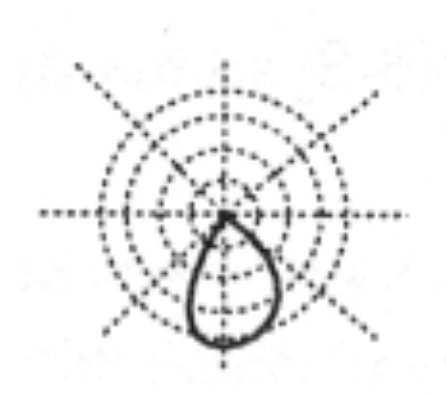
- **Strahler (spot light):** Lichtausbreitung wird auf einen bestimmten Raumwinkel (Lichtkegel) beschränkt. Der Abfall der Lichtstärke von der Kegelachse zum Rand wird durch folgendes Gesetz bestimmt:

$$I(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{falls } \cos \alpha < \cos \Theta \\ I_0(\lambda) \cos^n \alpha & \text{sonst} \end{cases}$$

- Charakterisierung durch:
 Position, Richtung (Kegelachse),
 Exponent (Öffnungswinkel), $I(\lambda)$



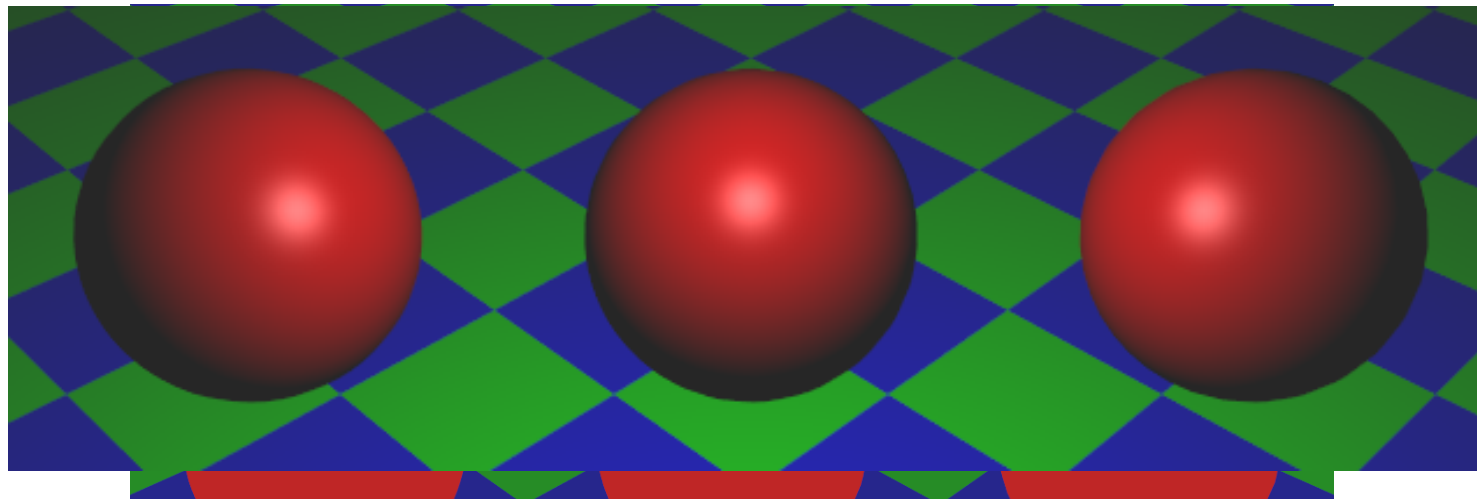
- **Goniometrische Lichtquelle:** Abstrahlcharakteristik wird per Tabelle beschrieben. Zur Ermittlung von $I(\lambda)$ muß evtl. zwischen Tabelleneinträgen interpoliert werden



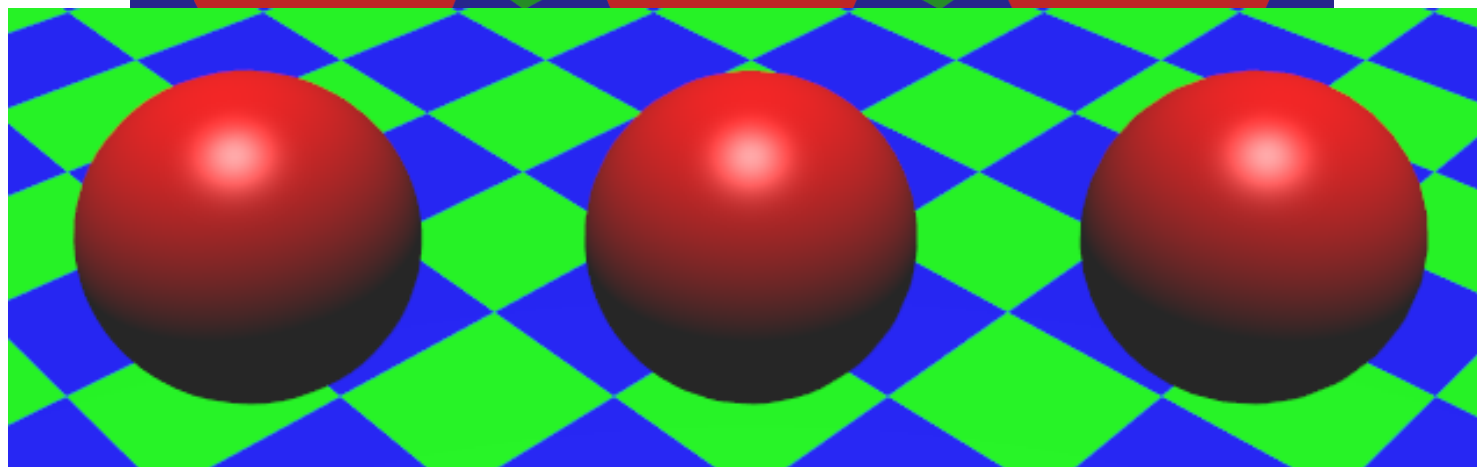
- **Area light source:**

Unterschiedlicher Effekt zwischen *point light* und *directional light*

- Wie erkennt man anhand der Beleuchtung einer Kugel, von welcher Art die Lichtquelle ist? (point oder directional?)



Point light source



Directional light source

- Vereinfachung: berücksichtige bei der Berechnung der Beleuchtung eines Punktes **keine sekundären Effekte** (Strahlungsaustausch zwischen Objekten), **nur primären** Austausch zwischen Lichtquelle und Objekt → **lokales Beleuchtungsmodell**

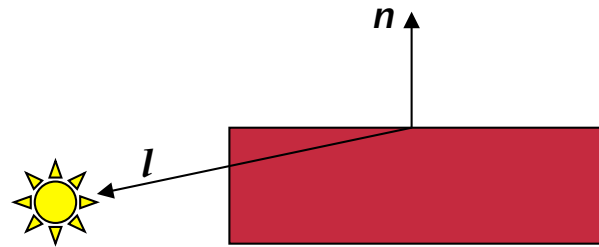
- **Superpositionsprinzip**: betrachte Licht als Teilchen →

$$I(\lambda) = \sum_j I_j(\lambda)$$

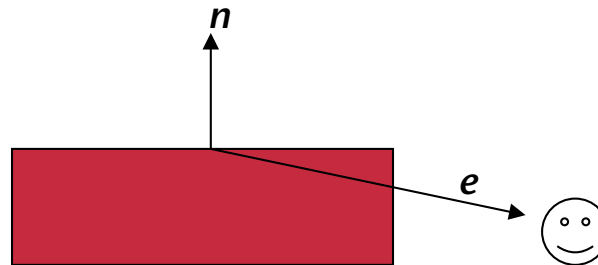
- Vereinfachung der Notation: wir lassen im Folgenden λ überall weg, und merken uns, daß alle photometrischen Größen eigtl. von λ abhängen!

Konvention bzgl. negativer Skalarprodukte

- Falls $\mathbf{n} \cdot \mathbf{l} < 0$, dann befindet sich das Licht hinter der Fläche



- Falls $\mathbf{n} \cdot \mathbf{e} < 0$, so befindet sich der Viewpoint auf der Rückseite der Fläche

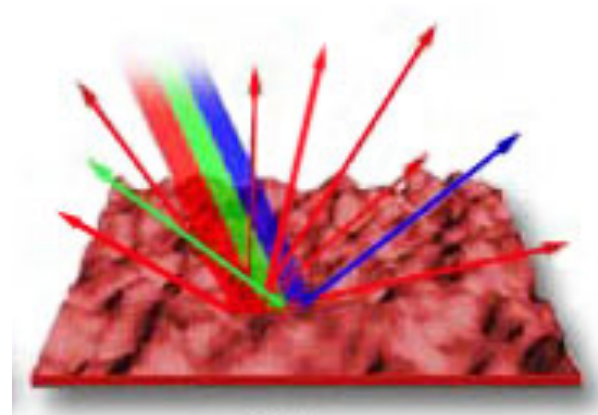
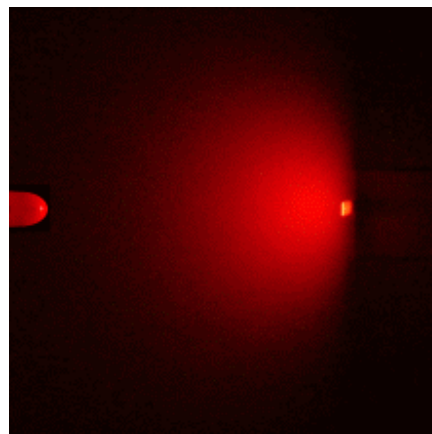


- Wir definieren im Folgenden (der Einfachheit halber) prinzipiell:

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{l} := \max(0, \mathbf{n} \cdot \mathbf{l})$$

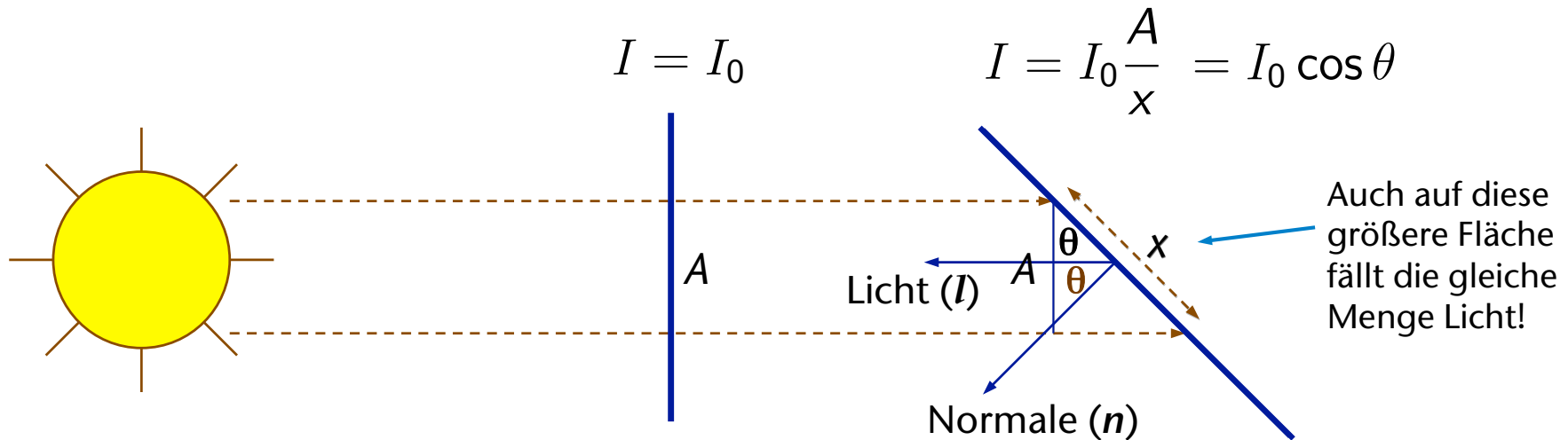
Diffuse Reflexion

- Licht wird von der Objekt Oberfläche gleichmäßig in alle Richtungen reflektiert
- Folge: Helligkeit ist unabhängig vom Viewpoint!
- Beispiele: Stück Papier, Tafel, unbearbeitetes Holz
- **Diffuse/Matte** Objekte werden auch **Lambert'sche** Objekte bezeichnet



- Das Lambert'schen Kosinus-Gesetz:

$$I = I_0 \cos \theta = I_0 \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{l} \quad \text{Annahme: } \mathbf{n} \text{ und } \mathbf{l} \text{ sind Einheitsvektoren}$$

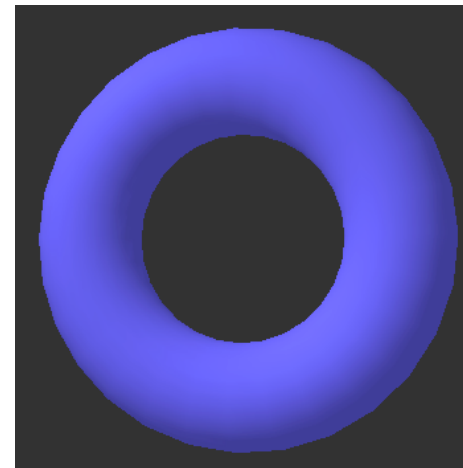


- Das Lambert'sche Modell erzeugt schwarze Farbe für Oberflächen, die nicht zur Lichtquelle zeigen
- In der Realität trifft Licht aus allen Richtungen ein (dieses wurde von anderen Objekten, evtl. mehrfach, reflektiert)
- Füge für alle Objekte einen **ambienten Beleuchtungsterm** ein:

$$I = I_a + I_0 \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{l}$$



Nur ambiente Beleuchtung



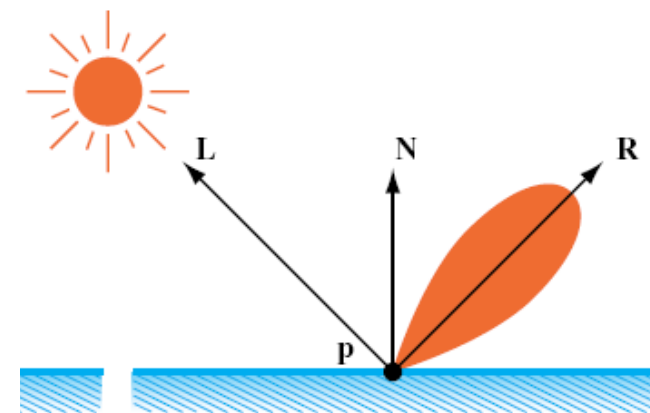
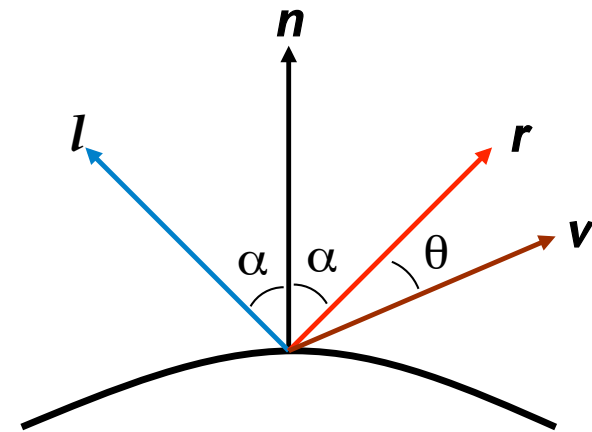
Diffuse + ambiente Beleuchtung

Spiegelnde Reflexion



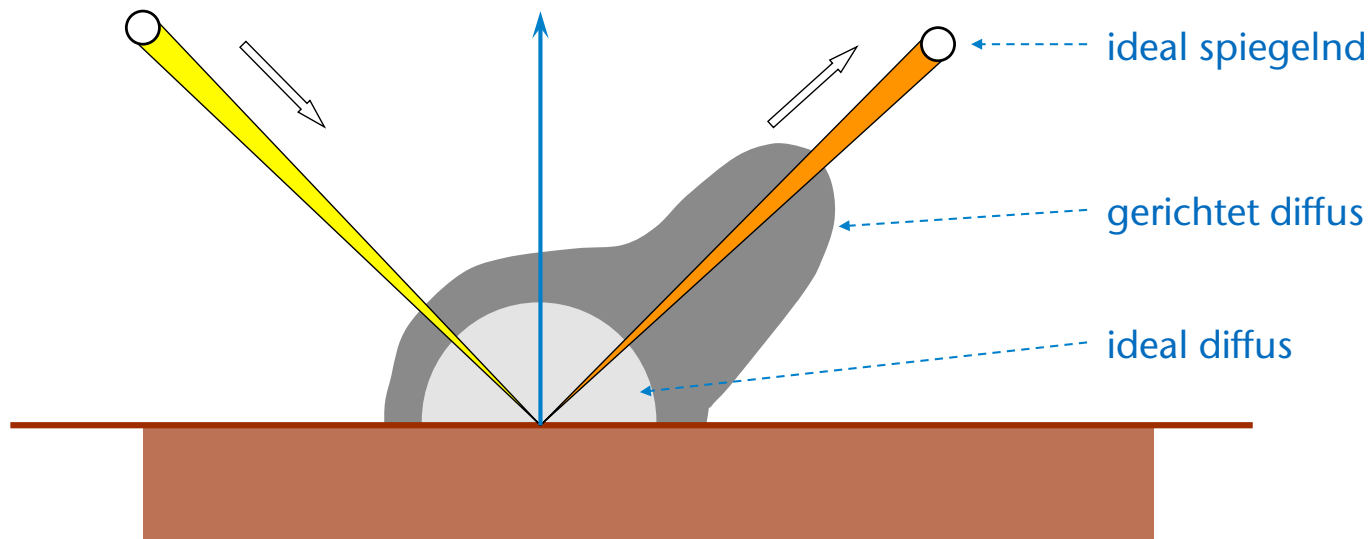
- Stellt Glanzpunkte auf glänzenden Oberflächen dar
- Oberflächenreflexion ist abhängig von
 - Richtung der Lichtquelle, l
 - Oberflächennormale, n
 - Richtung zum Betrachter, v
- Bei idealer spiegelnder Reflexion sieht man nur dann Licht von der Lichtquelle, wenn $r = v$
- Bei glänzenden Oberflächen sieht man auch "nahe" bei r ein Highlight; das erreicht man z.B. mit

$$I = I_0 (\cos \Theta)^p$$



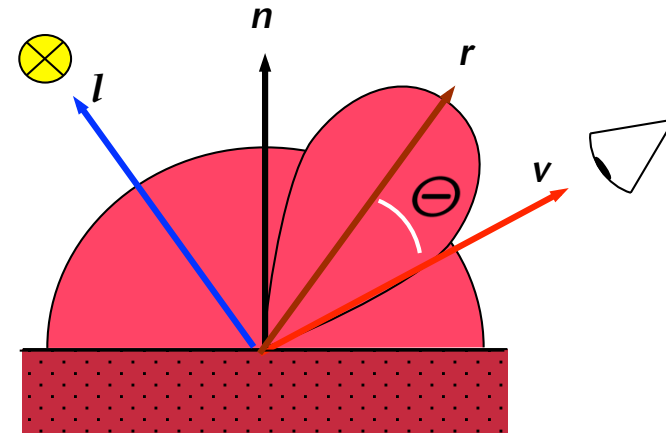
Gerichtet diffuse Reflexion

- Ideal diffuse und ideal spiegelnde Reflexion sind in der Realität selten; meist eine Mischung
- **Gerichtet diffuse Reflexion**: die abgestrahlte Intensität hat (oft) ein Maximum in Richtung der idealen Reflexion



- Zusammensetzung:

$$I = I_{\text{amb}} + I_{\text{diff}} + I_{\text{spec}}$$



- Aufgrund des Superpositionsprinzips erhält man für n Lichtquellen:

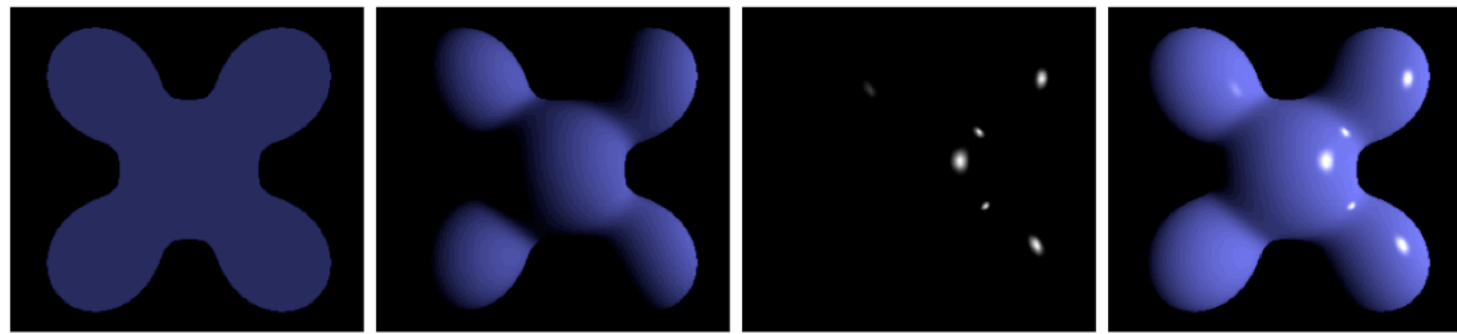
$$I = r_d \cdot I_a + \sum_{j=1}^n (r_d \cos \phi_j + r_s \cos^p \Theta_j) \cdot I_j$$


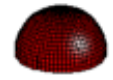



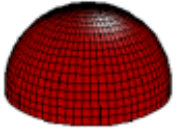

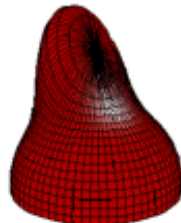



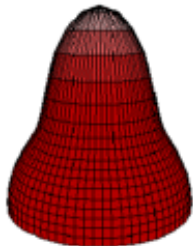
$r_d = r_d(\lambda)$ = diffuser Reflexionskoeffizient (spiegelnde Materialfarbe)

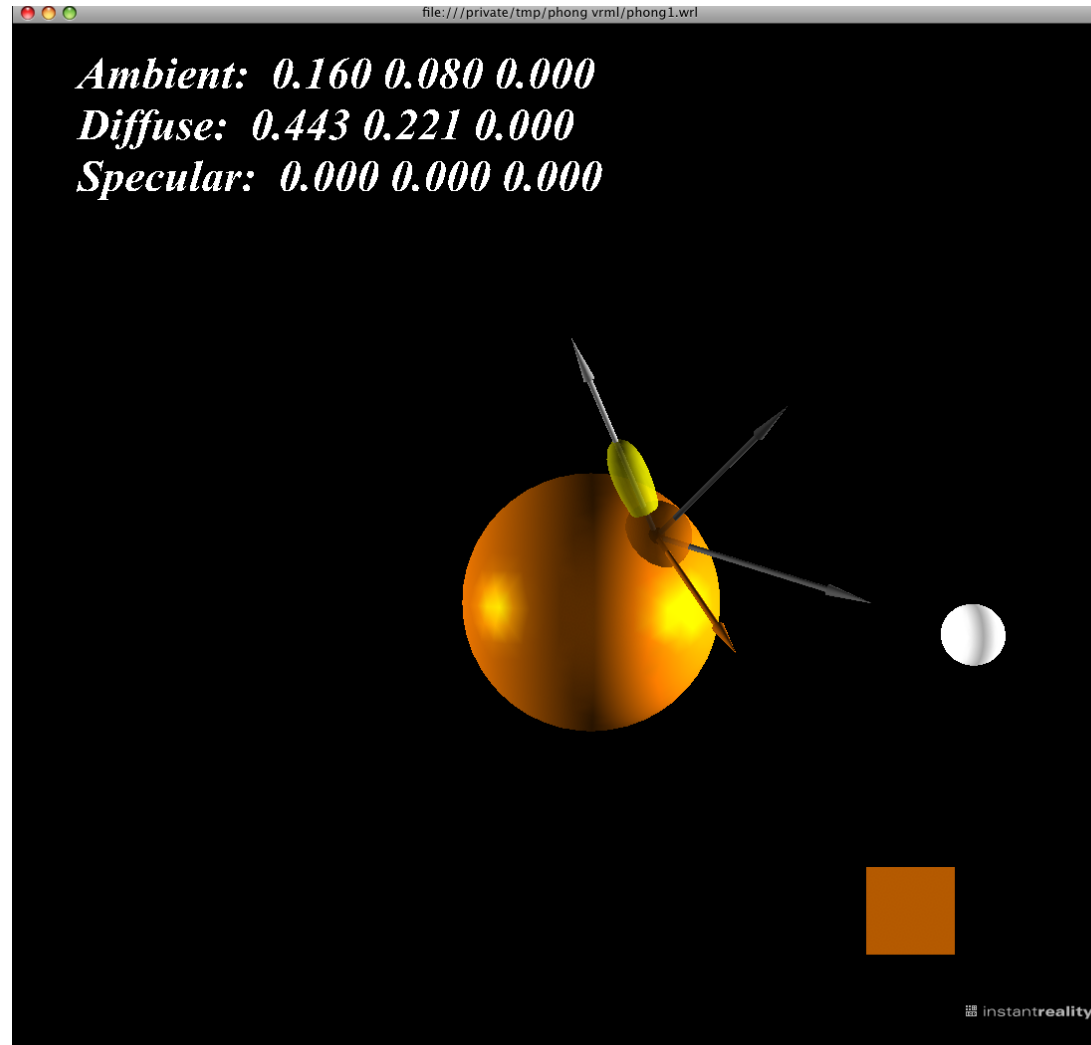
$r_s = r_s(\lambda)$ = spekularer Reflexionskoeffizient (diffuse Materialfarbe)

p = "Glanzzahl" (*shininess*), hat keine Einheit (hat keine physikalische Bedeutung)

ambient + diffus + spekulär = Phong

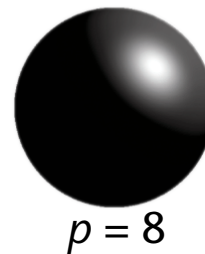
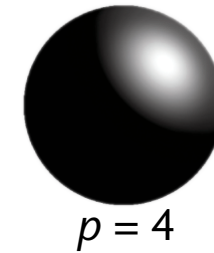
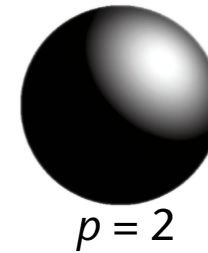
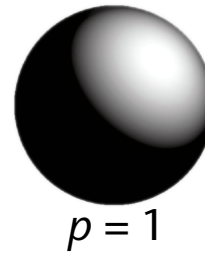
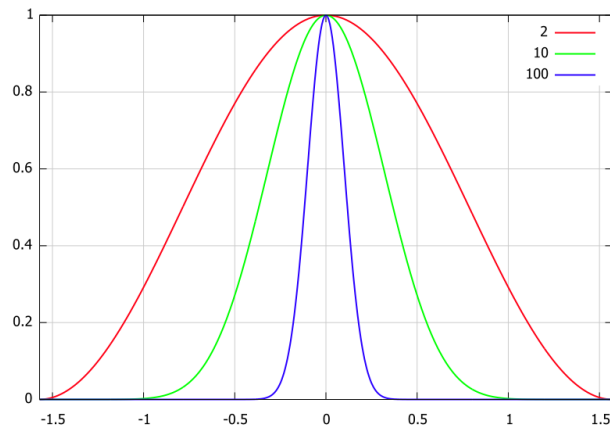
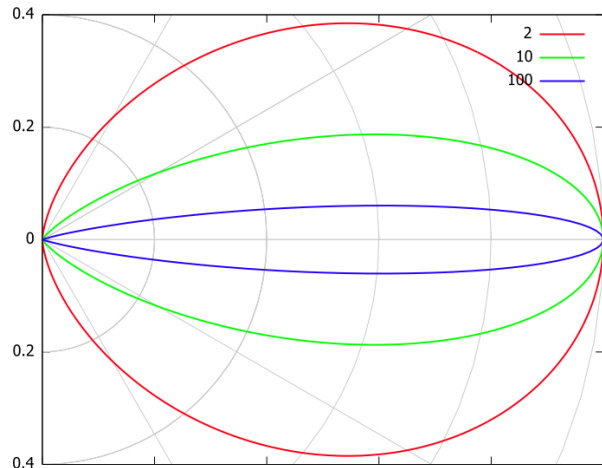


Phong	ρ_{ambient}	ρ_{diffuse}	ρ_{specular}	ρ_{total}
$\phi_i = 60^\circ$				
$\phi_i = 25^\circ$				
$\phi_i = 0^\circ$				

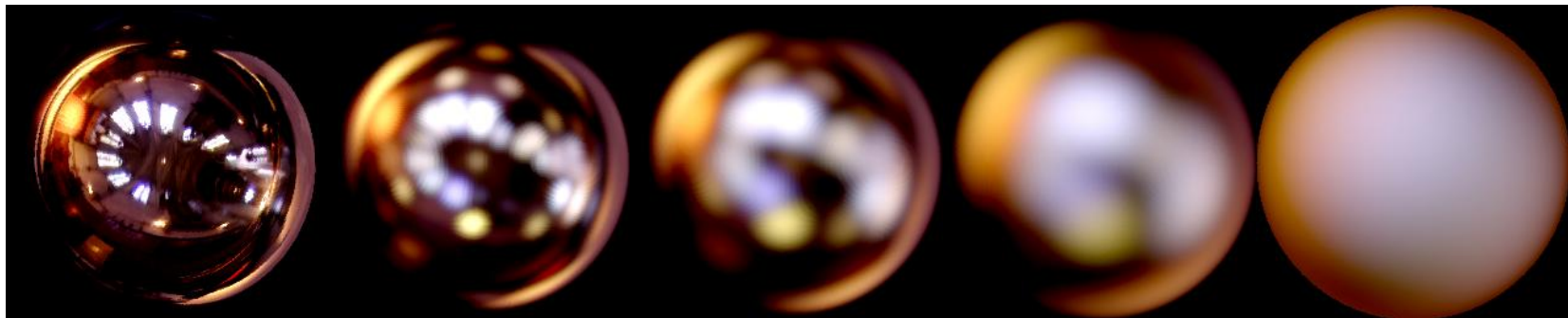
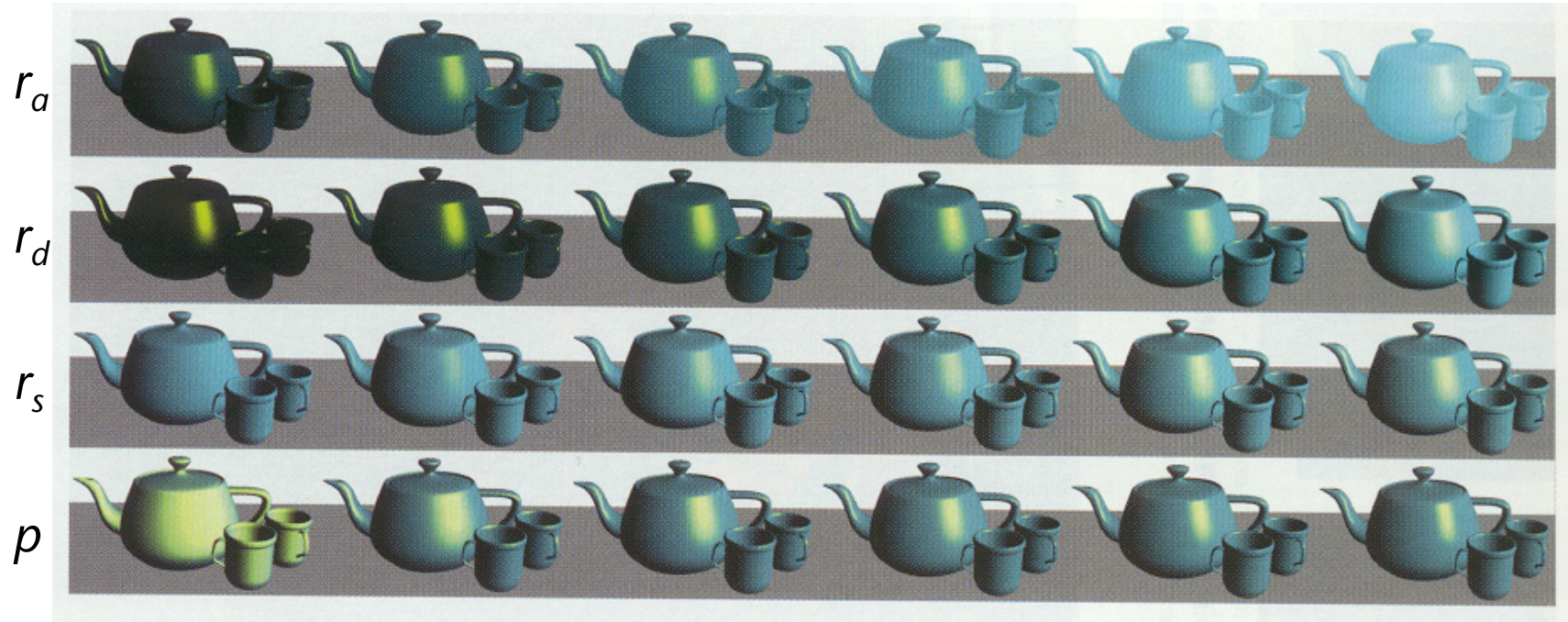


(Quelle: <http://www.avl.iu.edu/%7Eewernert/gviz/phong/>)

- Der Exponent p steuert die "Schärfe" des Highlights:



$$I_{\text{spec}} = r_s I_0 \cos^p \Theta = r_s I_0 (\mathbf{r} \cdot \mathbf{e})^p$$



→ "Oberflächenkörnigkeit" (p)

- Zusätzliche Freiheit: diffuse und spekulare (= spiegelnde) Materialfarbe können verschieden sein
- Problem: Werte > 1 können entstehen!
 - Abhilfe: Clamping
 - Besser wäre: Erhalten von Farbton und Sättigung

- Problem des Phong-Modells: man muß für jeden Punkt den Reflexionsvektor bestimmen
- Idee: verwende Winkelhalbierende h ("*half-vector*") und n , statt r und e :

$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{l} + \mathbf{e}}{|\mathbf{l} + \mathbf{e}|}$$

- Setze:

$$I'_{\text{spec}} = r_s I_0 \cos^q \frac{\theta}{2} = r_s I_0 (\mathbf{h} \cdot \mathbf{n})^q$$

- Es gilt: I' ist max $\Leftrightarrow I$ ist max
- Frage: ist es dasselbe Modell? \rightarrow fast
- Vorteil dieser Methode: wenn Auge und Lichtquelle unendlich weit entfernt sind, dann ist h (für eine bestimmte Lichtquelle) konstant! (Kann man also am Beginn eines Frames vorberechnen)

