

Beleuchtungsverfahren

1. Vorbemerkungen

2. Klassifizierung

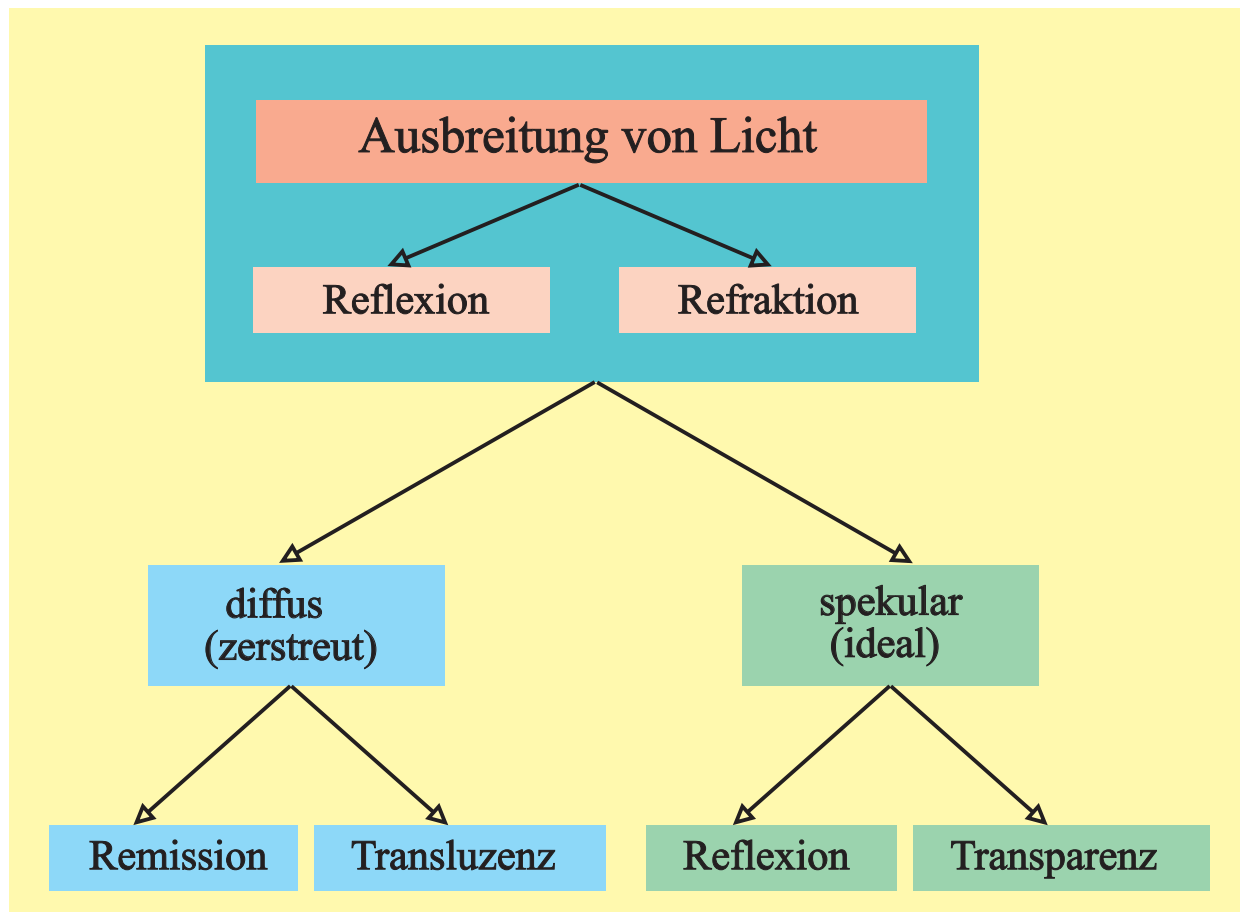
3. Beleuchtungsmodelle

- 3.1 Lichtquellenmodelle
- 3.2 Oberflächenmodelle
- 3.3 Basis-Beleuchtungsmodelle
- 3.4 Lokale Beleuchtungsmodelle
- 3.5 Globale Beleuchtungsmodelle

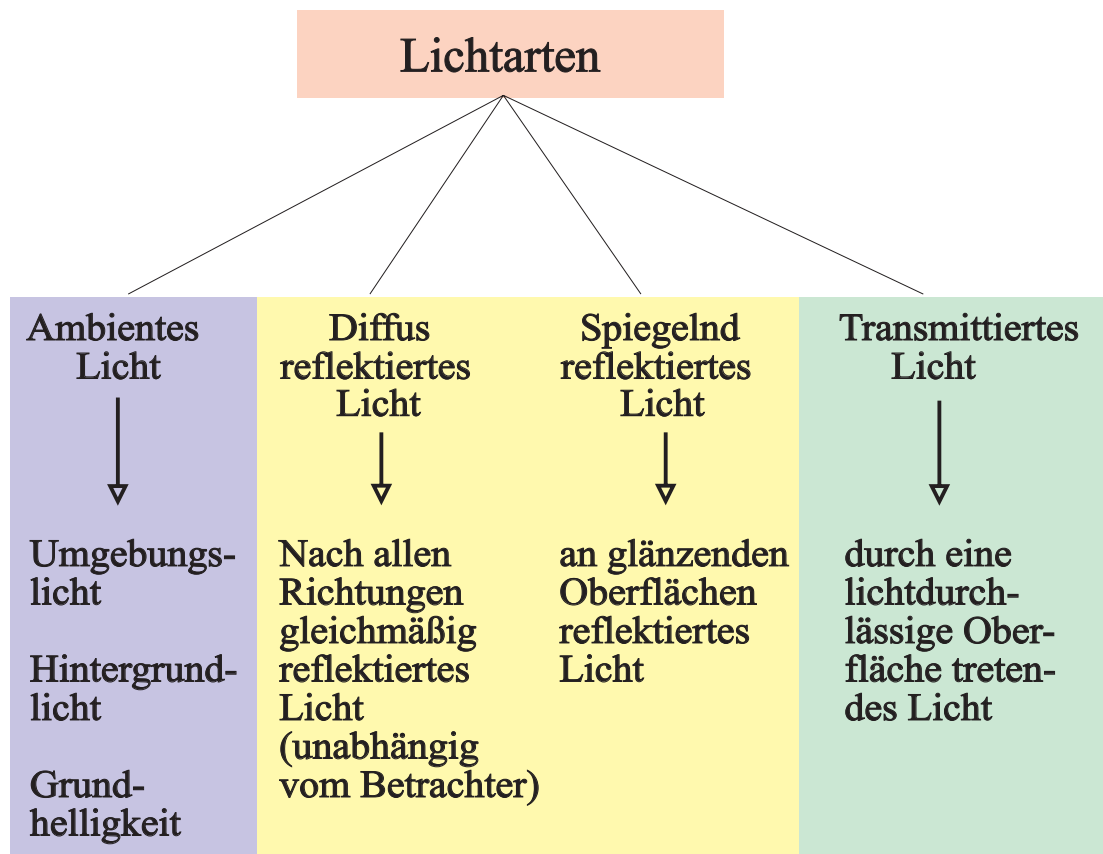
4. Beleuchtungsalgorithmen

- 4.1 Klassifizierung
- 4.2 Inkrementelle Berechnung
- 4.3 Ray Tracing (Überblick)
- 4.4 Radiosity (Überblick)

Vorbemerkungen (Teil 1)

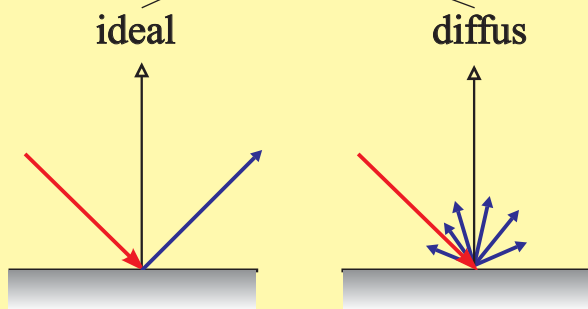


Vorbemerkungen (Teil 2)

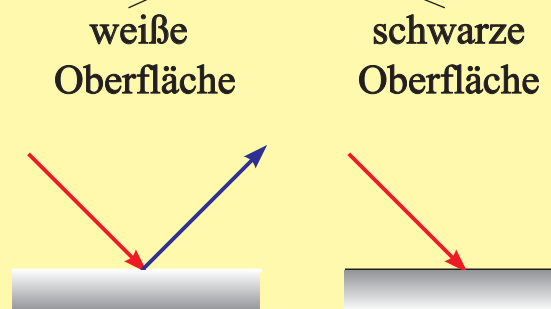


Vorbemerkungen (Teil 3)

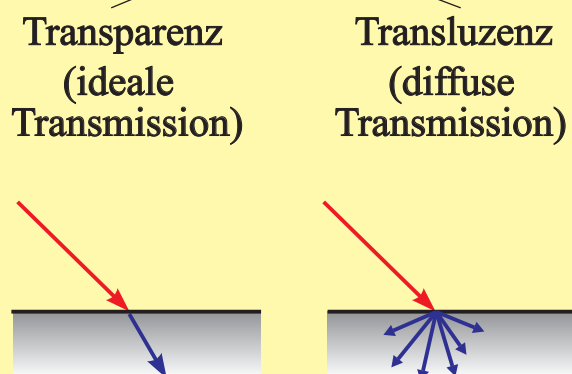
Reflexion



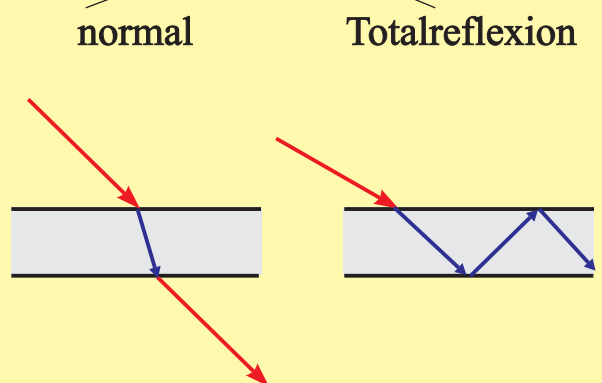
Absorbtion



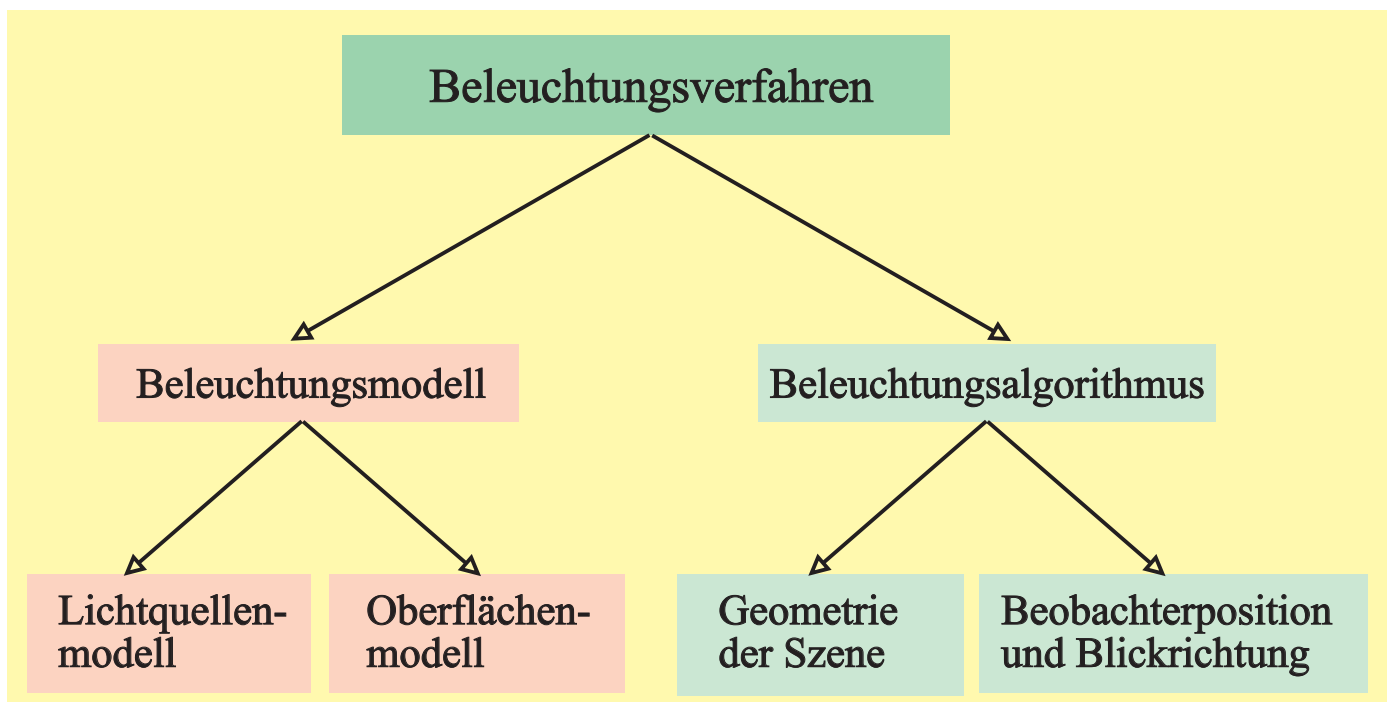
Transmission



Refraktion



Klassifizierung (Teil 1)



Klassifizierung (Teil 2)

Lichtquellenmodell

Vorschrift zur Simulation einer Lichtquelle.

Oberflächenmodell

Vorschrift zur Simulation der Oberflächenbeschaffenheit eines Objektes.

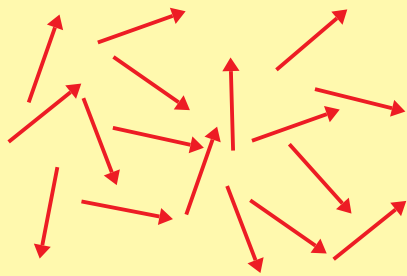
Beleuchtungsmodell

Vorschrift zur Berechnung der Leuchtdichte (Intensität, Farbe) an einer Position des Objektraumes auf der Basis eines Licht- und eines Oberflächenmodells.

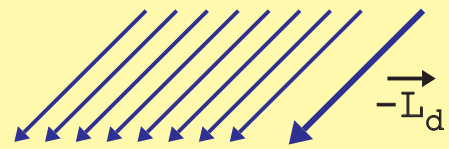
Beleuchtungsalgorithmus

Vorschrift, an welcher Position einer Szene welches Beleuchtungsmodell mit welchen Parametern anzuwenden ist.

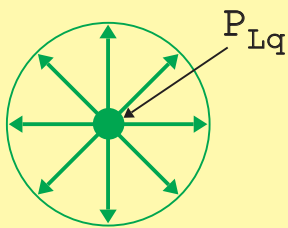
Lichtquellenmodelle (Teil 1)



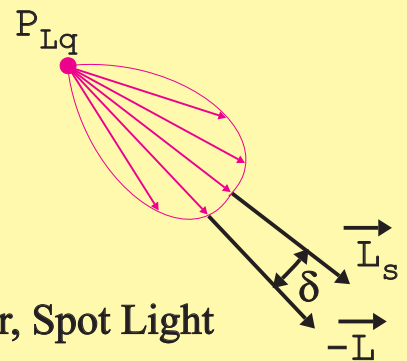
ambientes Licht



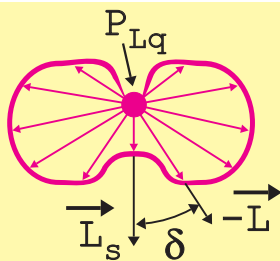
direktionale Lichtquelle



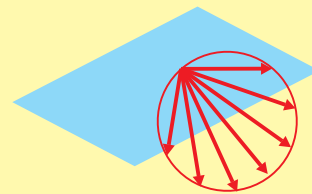
isotrope Punktlichtquelle



Strahler, Spot Light



goniometrische Lichtquelle



homogene, flächige Lichtquelle

Lichtquellenmodelle (Teil 2)

Ambientes Licht

Gleichmäßig in der Szene verteiltes Licht, breitet sich in jede Richtung aus, Umgebungslicht, Hintergrundlicht.

Parameter: $E_a(\lambda)$ **Beleuchtungsstärke**

Direktionale Lichtquelle

Im Unendlichen liegende Lichtquelle, deren Strahlen in einer bestimmten Richtung parallel auf die Oberfläche treffen.

Parameter: $\vec{L}_d$ **Richtung der Lichtstrahlen**
 $I_{Lq}(\lambda)$ **Lichtstärke der Lichtquelle**

Isotrope Punktlichtquelle

Lichtstrahlen werden von einem definierten Punkt im 3D-Raum in alle Richtungen mit der gleichen Stärke abgestrahlt.

Parameter: P_{Lq} **Position der Lichtquelle**
 $I_{Lq}(\lambda)$ **Lichtstärke der Lichtquelle**

Lichtquellenmodelle (Teil 3)

Strahler

Punktlichtquelle, die das Licht jedoch nicht gleichmäßig in alle Richtungen abstrahlt. Begrenzung allgemein durch einen Kegel.

Parameter: P_{Lq}	Position des Strahlers
$\vec{L}_s$	Hauptstrahlrichtung
$I_{Lq}(\lambda)$	Lichtstärke des Strahlers
c_s	Konzentrationsexponent
α	Kegel-Öffnungswinkel

Lichtstärke in Richtung d:

$$I_{Lq}(\lambda, \delta) = \begin{cases} \cos^{c_s}(\delta) * I_{Lq}(\lambda) & \text{für } \alpha > \delta \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Goniometrische Lichtquelle

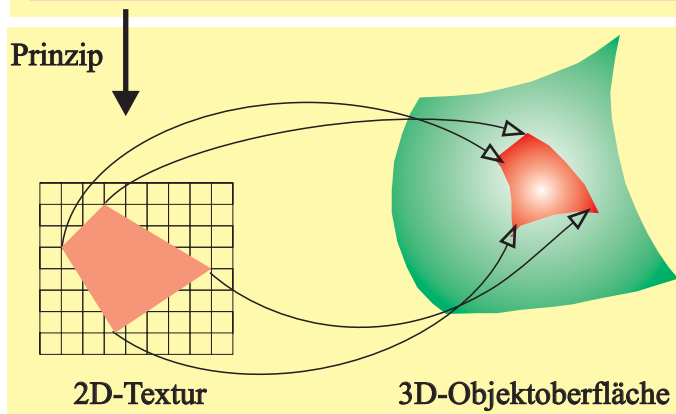
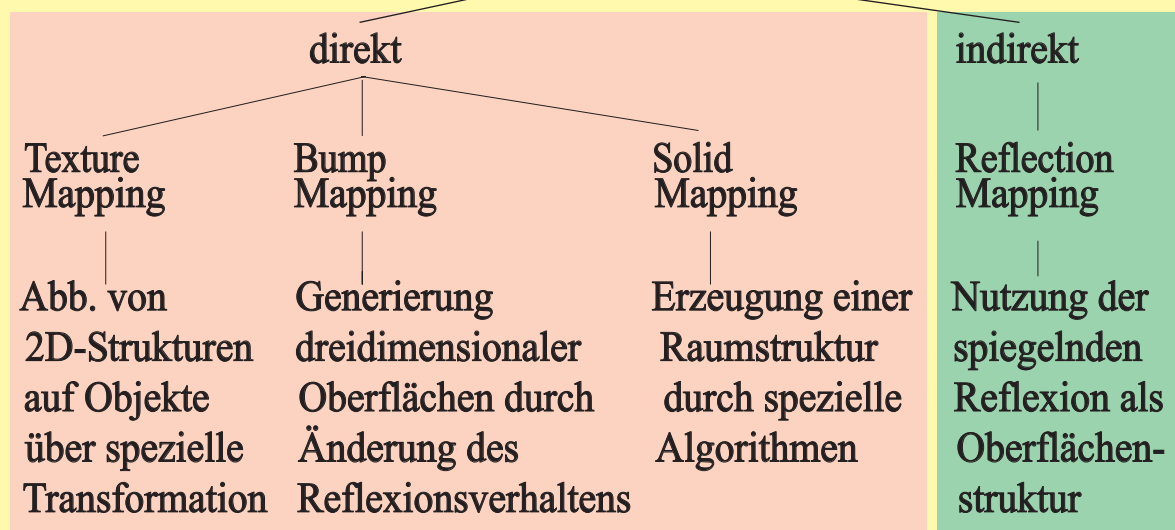
Spezieller Strahler, bei dem die größte Lichtstärke nicht in der Hauptstrahlrichtung liegen muß.

Oberflächenmodelle (Teil 1)

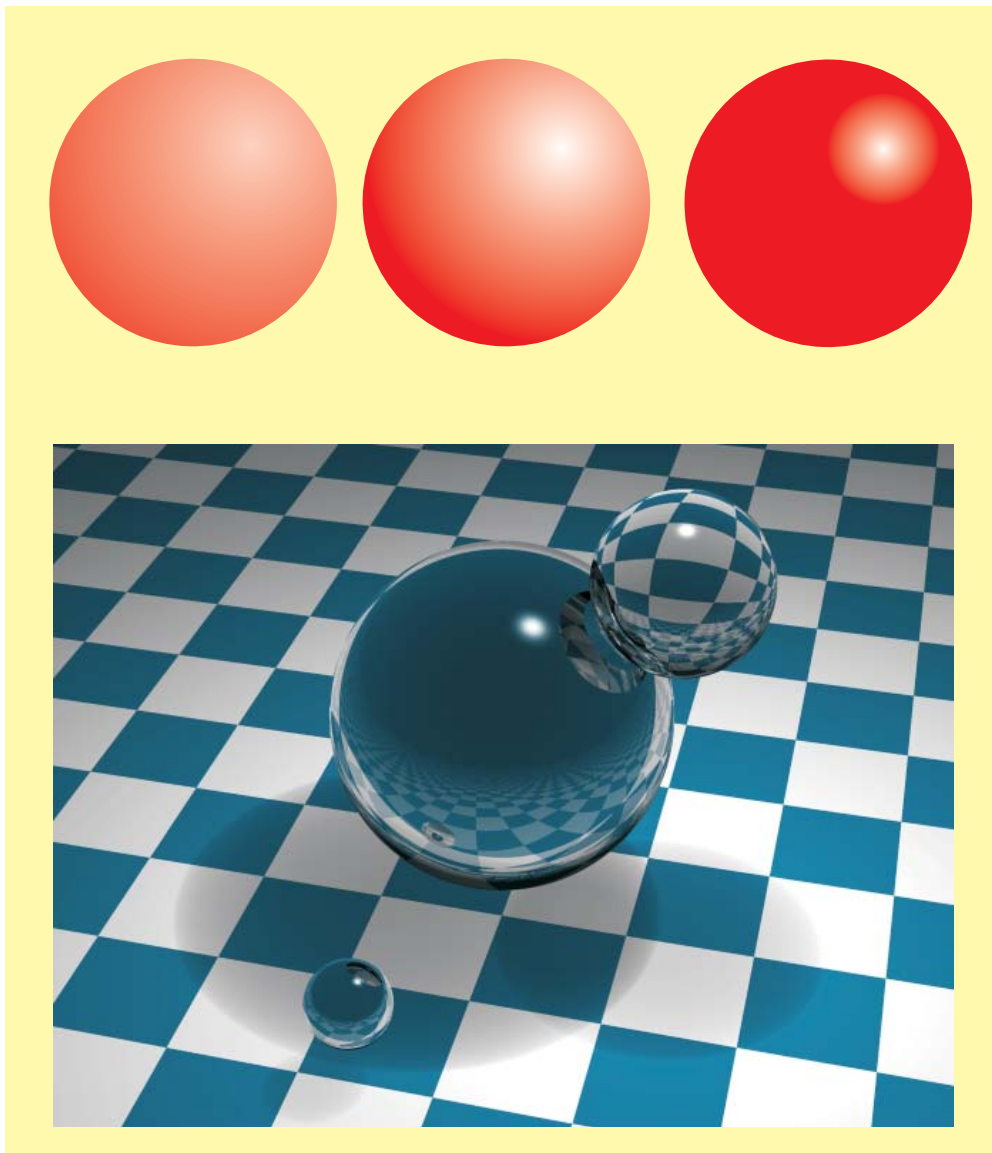
Materialeigenschaften an Grenzflächen
(Reflexion, Absorption, Transmission)

Materialeigenschaften zwischen Grenzflächen
(Ablenkung, Absorption)

Spezielle Materialeigenschaften, Texturen(Überblick)

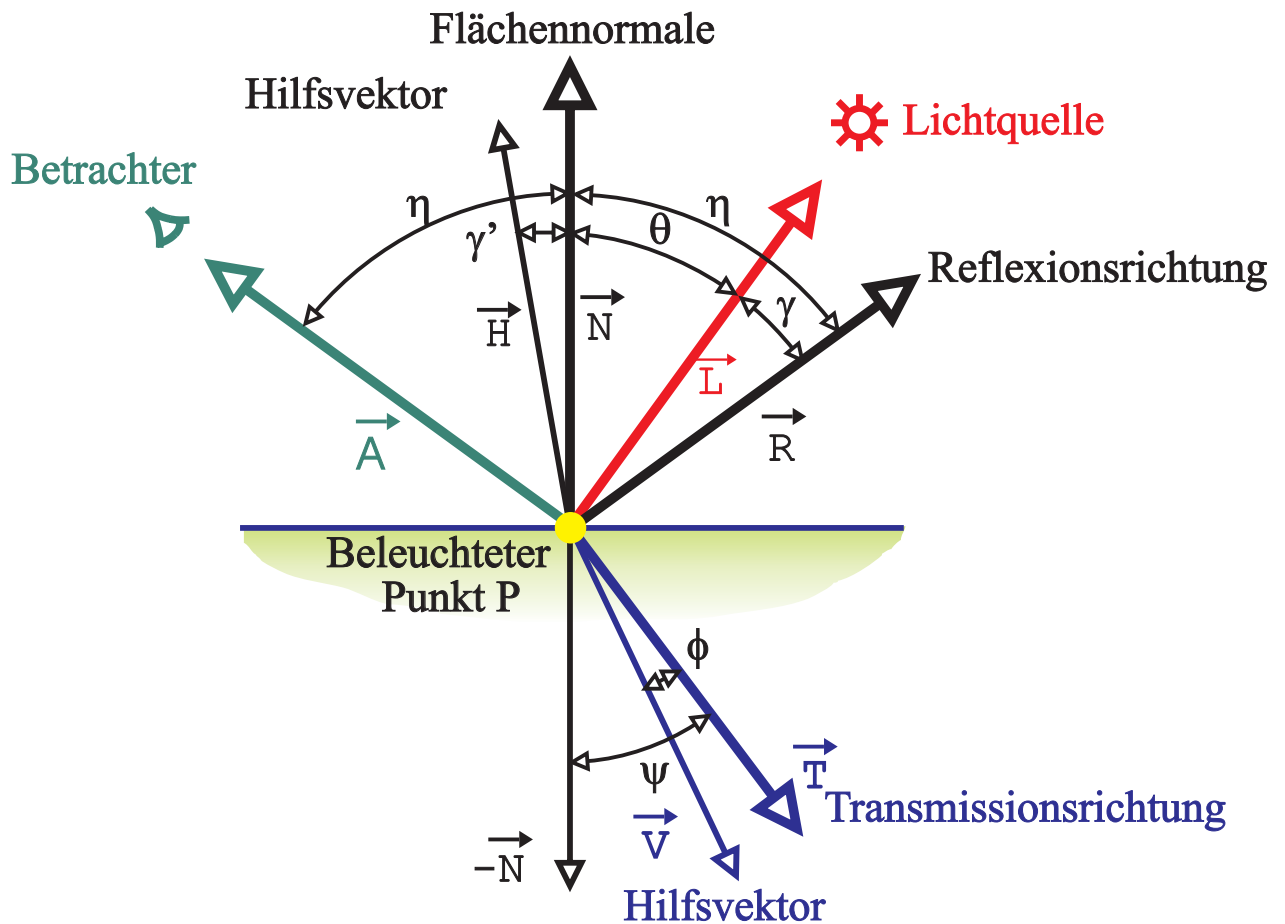


Oberflächenmodelle (Teil 2)



Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 1)

Richtungsvektoren für die Beleuchtungsmodelle und -algorithmen



- $\vec{A}$ Vektor zum Betrachter (Sichtvektor)
- $\vec{R}$ Vektor in reflektierter Richtung von $\vec{A}$
- $\vec{T}$ Vektor in transmittierter Richtung von $\vec{A}$
- $\vec{L}$ Vektor zur Lichtquelle (Lichtvektor)
- $\vec{N}$ Normalenvektor im Punkt P
- $\vec{H}$ Hilfsvektor für die Reflexion
- $\vec{V}$ Hilfsvektor für die Transmission

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 2)

Ambientes Licht (1)

$$L_{\text{ambient}}(\lambda) = k_a(\lambda) * E_a(\lambda)$$

$E_a(\lambda)$ Beleuchtungsstärke des ambienten Lichts

$k_a(\lambda)$ ambierter Reflexionskoeffizient, 0..1

Umgebungslicht, das überall in der Szene gleichmäßig verteilt ist, aus allen Richtungen gleichmäßig auftritt und in alle Richtungen gleichmäßig reflektiert wird bzw. in Objekte eintritt.

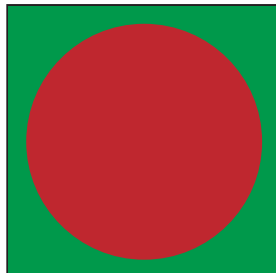
Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 3)

Ambientes Licht (2)

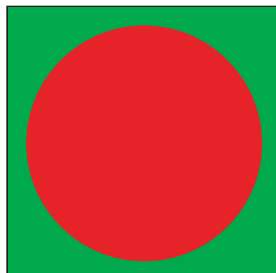
Einfluß des ambienten Reflexionskoeffizienten $k_a(\lambda)$



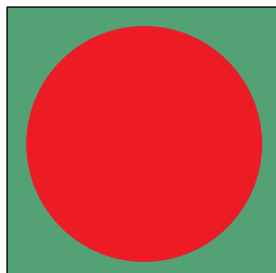
$$k_{a,1}(\lambda) = 0$$



$$k_{a,2}(\lambda) > k_{a,1}(\lambda)$$



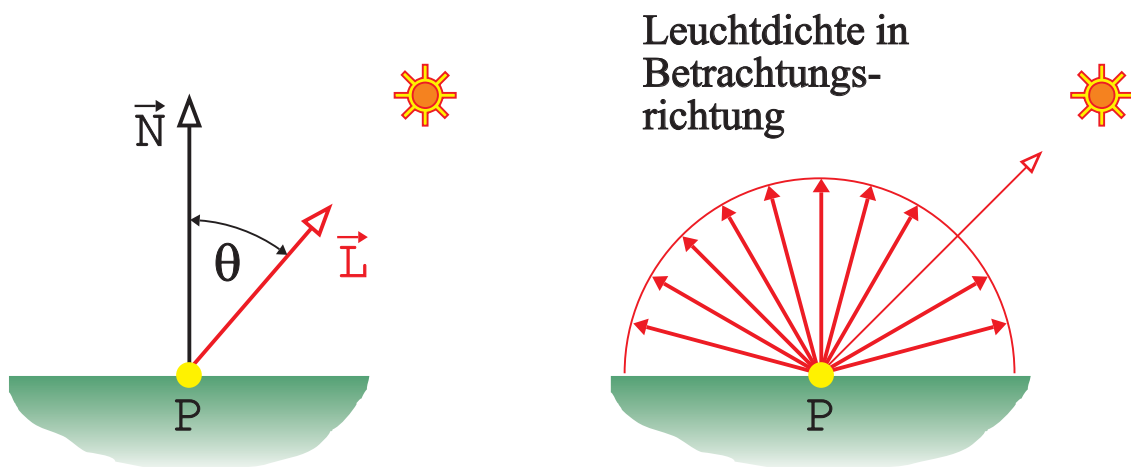
$$k_{a,3}(\lambda) > k_{a,2}(\lambda)$$



$$k_{a,4}(\lambda) > k_{a,3}(\lambda)$$

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 4)

Diffus reflektiertes Licht (1)



$$L_{\text{diffus}}(\lambda) = \begin{cases} k_d(\lambda) \cdot \cos(\theta) \cdot I_{Lq}(\lambda) & \text{für } -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Wenn $\vec{N}$ und $\vec{L}$ normiert sind, so gilt $\cos(\theta) = \vec{N} \cdot \vec{L}$

θ Winkel zwischen $\vec{N}$ und $\vec{L}$

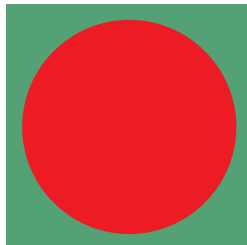
$I_{Lq}(\lambda)$ spektrale Lichtstärke der Lichtquelle

$k_d(\lambda)$ diffuser Reflexionskoeffizient, 0..1

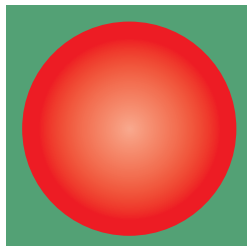
Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 5)

Diffus reflektiertes Licht (2)

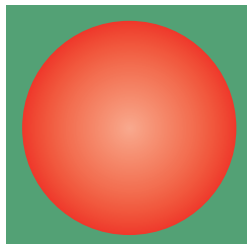
Einfluß des diffusen Reflexionskoeffizienten $k_d(\lambda)$



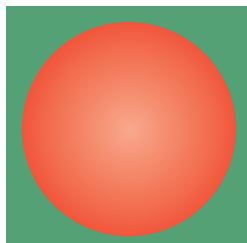
$$k_{d,1}(\lambda) = 0$$



$$k_{d,2}(\lambda) > k_{d,1}(\lambda)$$



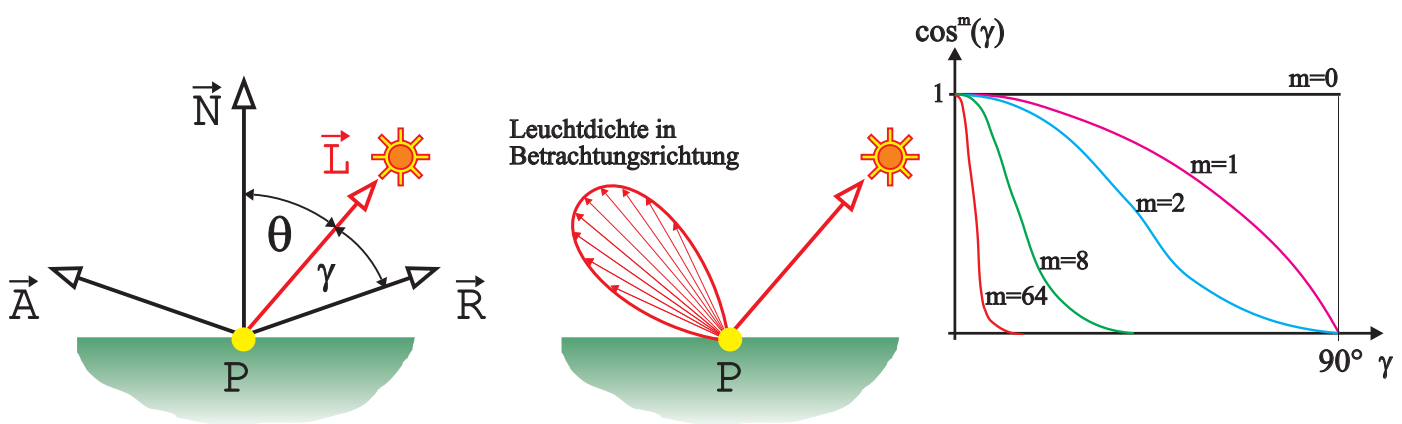
$$k_{d,3}(\lambda) > k_{d,2}(\lambda)$$



$$k_{d,4}(\lambda) > k_{d,3}(\lambda)$$

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 6)

Gerichtet reflektiertes Licht (1)



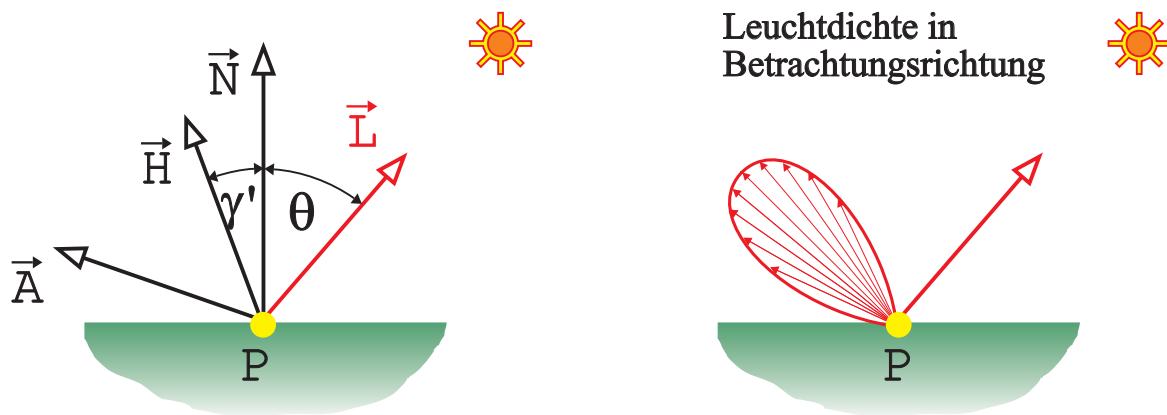
Phong-Modell (1975): $L_{rspek}(\lambda) = W(\theta) * \cos^m(\gamma) * I_{Lq}(\lambda)$

Wenn $\vec{L}$ und $\vec{R}$ normiert sind, so gilt $\cos(\gamma) = \vec{L} * \vec{R}$

- γ Winkel zwischen $\vec{L}$ und $\vec{R}$
- $I_{Lq}(\lambda)$ spektrale Lichtstärke der Lichtquelle
- m Material- und Oberflächenkonstante, $m > 0$
- $W(\theta)$ Funktion für die spiegelnde Reflexion
(meist wird dafür der konstante Wert k_s für die spiegelnde Reflexion gesetzt)

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 7)

Gerichtet reflektiertes Licht (2)



Blinn-Modell (1977): $L_{rspek}(\lambda) = k_s \cdot \cos^m(\gamma') \cdot I_{Lq}(\lambda)$

Wenn $\vec{N}$ und $\vec{H}$ normiert sind, so gilt

$$\cos(\gamma') = \vec{N} \cdot \vec{H} \quad \text{mit} \quad \vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{A}}{|\vec{L} + \vec{A}|}$$

γ' Winkel zwischen $\vec{N}$ und $\vec{H}$

$I_{Lq}(\lambda)$ spektrale Lichtstärke der Lichtquelle

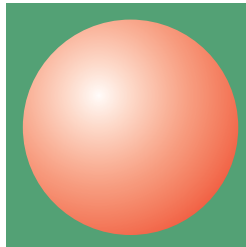
m Material- und Oberflächenkonstante, $m > 0$

k_s spiegelnder Reflexionskoeffizient, $0..1$

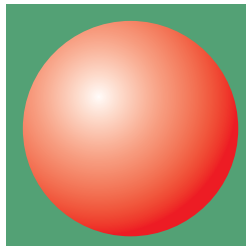
Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 8)

Gerichtet reflektiertes Licht (3)

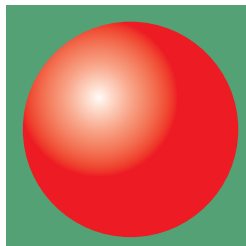
Einfluß der Material und Oberflächenkonstanten m



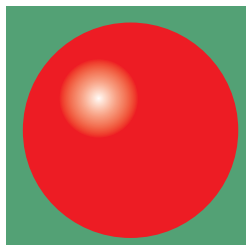
$$m_1 = 0$$



$$m_2 > m_1$$



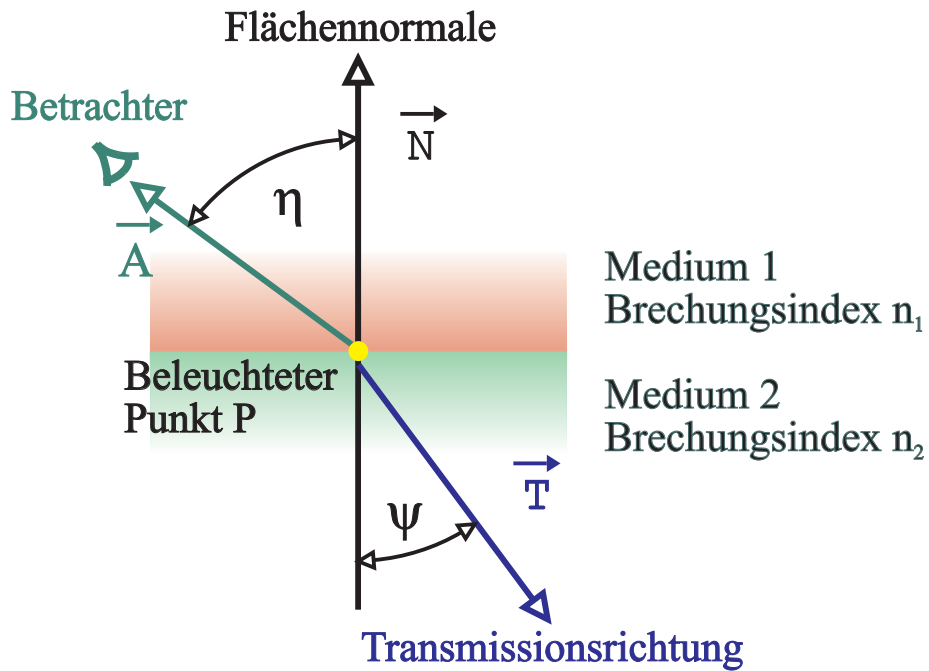
$$m_3 > m_2$$



$$m_4 > m_3$$

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 9)

Gerichtet gebrochenes Licht (1)



Brechungsgesetz von Snellius (1621)

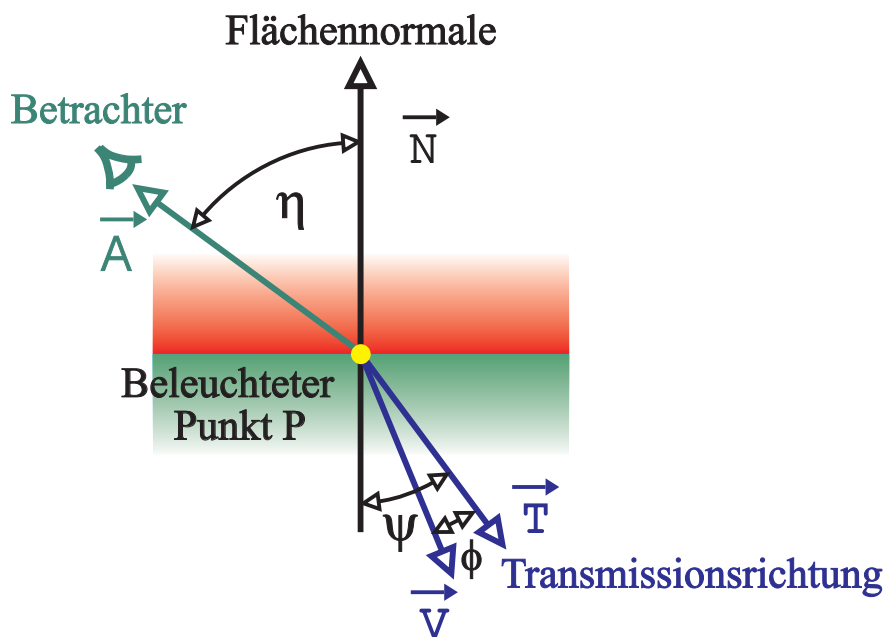
$$\frac{\sin(\eta)}{\sin(\psi)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Brechungsindizes n (Auswahl)

Luft	1.003
Wasser	1.333
Quarz	1.46..1.50
Plexiglas	1.732
Glas	1.4-4.0
Diamant	2.417
keramische Stoffe	>10

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 10)

Gerichtet gebrochenes Licht (2)



$$L_{tspek}(\lambda) = k_t \cdot \cos^p(\phi) \cdot I_{Lq}(\lambda)$$

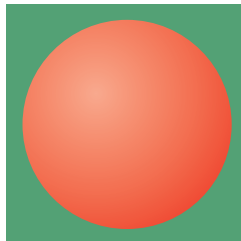
Wenn $\vec{T}$ und $\vec{V}$ normiert sind, so gilt $\cos(\phi) = \vec{T} \cdot \vec{V}$

ϕ	Winkel zwischen $\vec{T}$ und $\vec{V}$
$I_{Lq}(\lambda)$	spektrale Lichtstärke der Lichtquelle
p	Material- und Oberflächenkonstante, $p > 0$
k_t	spiegelnder Transmissionskoeffizient, $0..1$

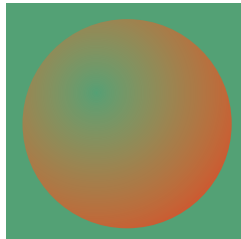
Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 11)

Gerichtet gebrochenes Licht (3)

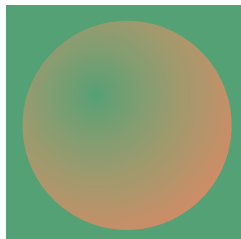
Einfluß des Transmissionskoeffizienten k_s



$$k_{s,1}=0$$



$$k_{s,2}>k_{s,1}$$



$$k_{s,3}>k_{s,2}$$

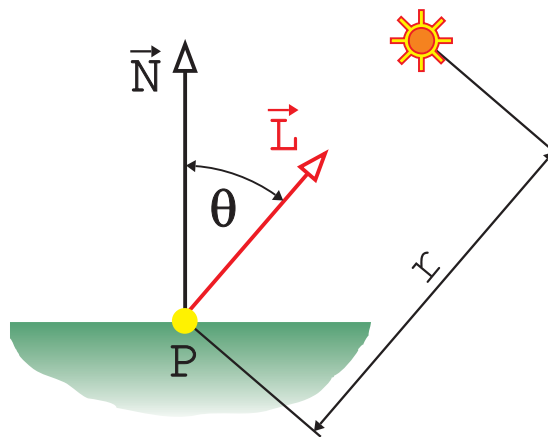


$$k_{s,4}>k_{s,3}$$

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 12)

Diffus und gerichtet reflektiertes oder gebrochenes Licht

Berücksichtigung der Entfernung r der Lichtquelle

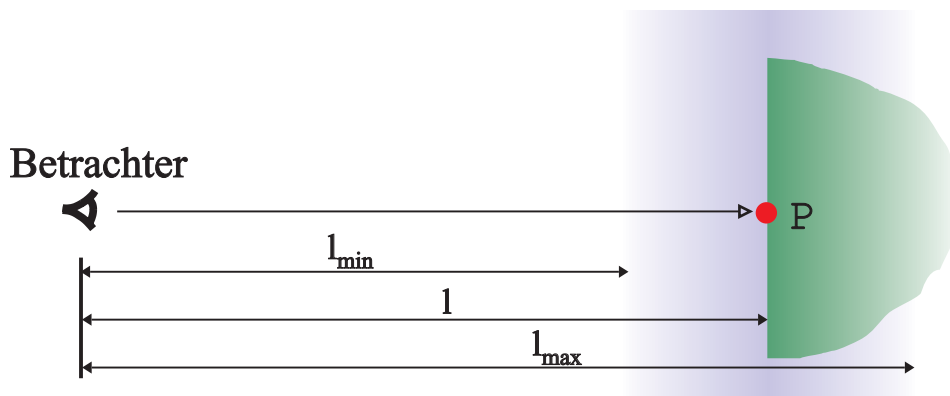


$$f(r) = \begin{cases} \frac{1}{c_0 r^2 + c_1 r + c_2} & \text{für } r \neq \infty \\ 1 & \text{für } r = \infty \end{cases}$$

c_0, c_1, c_2 wählbare Konstanten

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 13)

Berücksichtigung des Nebeleffektes



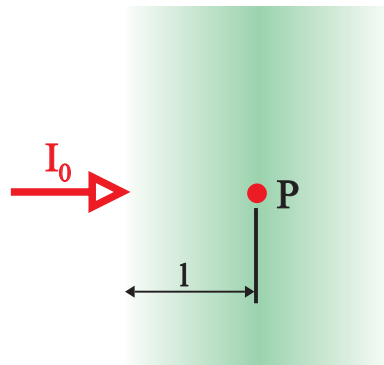
$$I = k_{dc} * I_O + (1 - k_{dc}) * I_N$$

$$k_{dc} = \begin{cases} k_{min} & \text{für } l < l_{min} \\ k_{max} & \text{für } l > l_{max} \\ k_{min} + \frac{(1 - l_{min})(k_{max} - k_{min})}{(l_{max} - l_{min})} & \text{sonst} \end{cases} \quad 0 \leq k_{min} < k_{max} \leq 1$$

I_O	Objektfarbe ohne Nebel
I_N	Nebelfarbe
l	Entfernung des Objekts vom Betrachter
k_{min}, k_{max}	Gewichtsfaktoren des Nebels

Basis-Beleuchtungsmodelle (Teil 14)

Absorption des Lichts im Medium

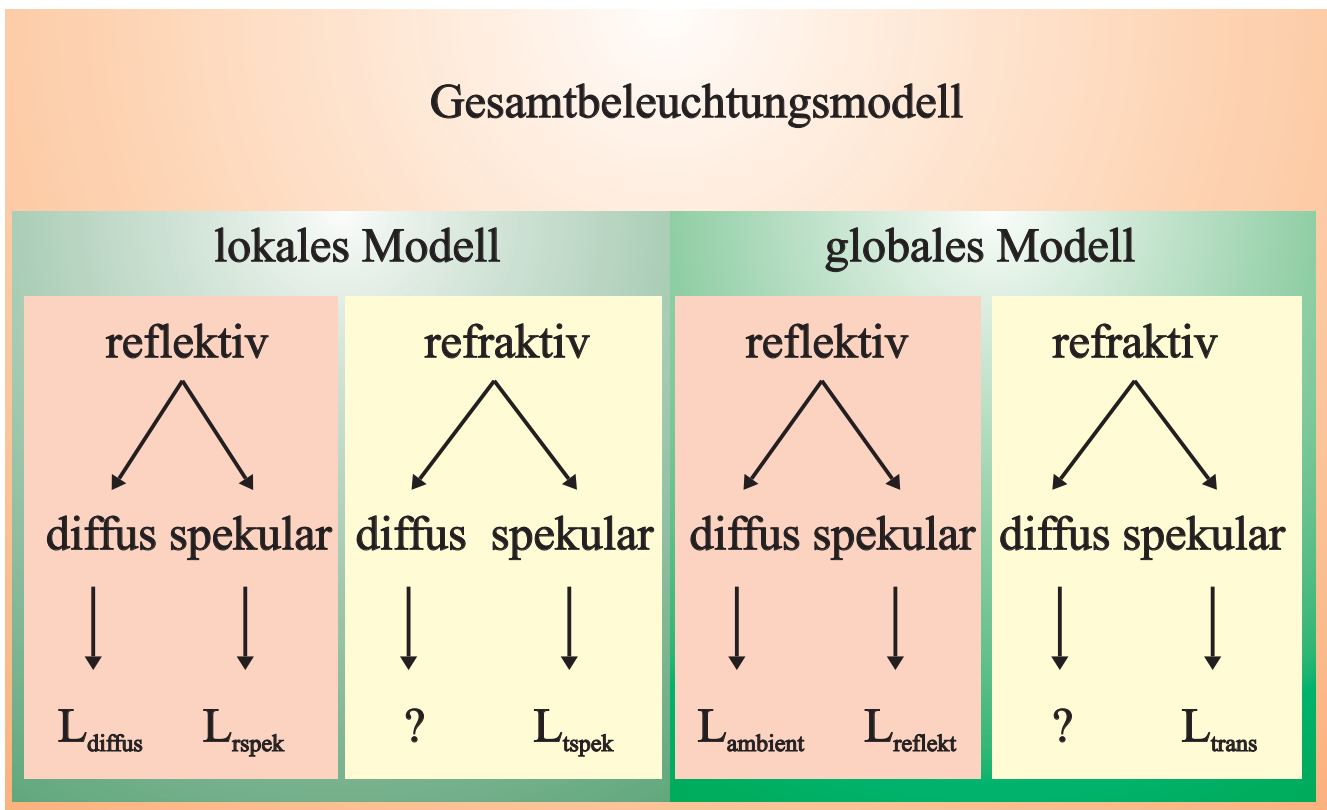


$$I = I_0 * e^{-al}$$

I	Intensität des Lichts am Punkt P
I_0	Intensität des Lichts beim Eintritt in das Medium
l	Im Medium durch das Licht zurückgelegter Weg
a	Absorptionskoeffizient, $a > 0$

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 1)

Gesamtbeleuchtungsmodell



Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 2)

Lokales Beleuchtungsmodell für n Lichtquellen nach *Phong*

$$L_{\text{Phong}}(\lambda) = L_{\text{ambient}}(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) * \{L_{\text{diffus},j}(\lambda) + L_{\text{rspek},j}(\lambda)\}$$

$$L_{\text{ambient}}(\lambda) = k_a(\lambda) * E_a(\lambda)$$

$$L_{\text{diffus},j}(\lambda) = \begin{cases} k_d(\lambda) * (\vec{N} * \vec{L}_j) * I_{L_{qj}}(\lambda) & \text{für } \vec{N} * \vec{L}_j > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$L_{\text{rspek},j}(\lambda) = k_s * (\vec{L}_j * \vec{R})^m * I_{L_{qj}}(\lambda)$$

$$f(r_j) = \frac{1}{c_0 r_j^2 + c_1 r_j + c_2} \quad [f(\infty) = 1!]$$

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 3)

Lokales Beleuchtungsmodell für n Lichtquellen nach *Blinn*

$$L_{\text{Blinn}}(\lambda) = L_{\text{ambient}}(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) \cdot \{L_{\text{diffus},j}(\lambda) + L_{\text{rspek},j}(\lambda)\}$$

$$L_{\text{ambient}}(\lambda) = k_a(\lambda) \cdot E_a(\lambda)$$

$$L_{\text{diffus},j}(\lambda) = \begin{cases} k_d(\lambda) \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L}_j) \cdot I_{L_{qj}}(\lambda) & \text{für } \vec{N} \cdot \vec{L}_j > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$L_{\text{rspek},j}(\lambda) = k_s \cdot \frac{D \cdot G \cdot F(\theta, \lambda)}{\vec{N} \cdot \vec{A}} \cdot I_{L_{qj}}(\lambda)$$

$$f(r_j) = \frac{1}{c_0 r_j^2 + c_1 r_j + c_2} \quad [f(\infty) = 1!]$$

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 4)

Lokales Beleuchtungsmodell der *OpenGL* für n Lichtquellen (1)

$$C_{\text{OpenGL}}(\lambda) = C_e(\lambda) + C_a(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) * s(a_j) * \{C_{L_{a,j}}(\lambda) + C_{L_{d,j}}(\lambda) + C_{L_{s,j}}(\lambda)\}$$

$C_e(\lambda) = \text{Emission}$

Eigenleuchten des Materials

$C_a(\lambda) = k_a(\lambda) * C_{\text{amb}}(\lambda)$

globales ambientes Licht

$$f(r_j) = \frac{1}{k_{\text{quad}} r_j^2 + k_{\text{lin}} r_j + k_{\text{konst}}}$$

Abschwächungsfaktor

$$s(a_j) = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ \max(\vec{L}_j * \vec{L}_{s,j}, 0)^k \end{cases}$$

falls kein Spotlicht

falls Punkt außerhalb des Öffnungswinkels α

sonst ($L_{s,j} = \text{Hauptstrahlrichtung}$)

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 5)

Lokales Beleuchtungsmodell der *OpenGL* für n Lichtquellen (2)

$$C_{\text{OpenGL}}(\lambda) = C_e(\lambda) + C_a(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) * s(a_j) * \{C_{La,j}(\lambda) + C_{Ld,j}(\lambda) + C_{Ls,j}(\lambda)\}$$

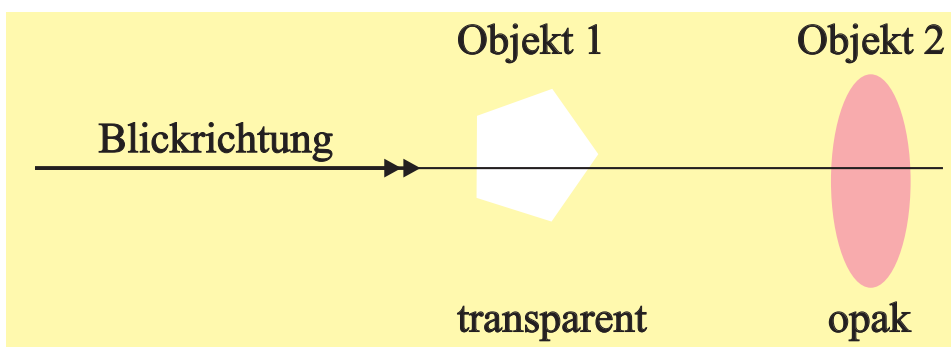
$$C_{La,j}(\lambda) = k_a(\lambda) * C_{Lamb}(\lambda)$$

$$C_{Ld,j}(\lambda) = k_d(\lambda) * C_{Ldiff}(\lambda) * \max(\vec{N} * \vec{L}_j, 0)$$

$$C_{Ls,j}(\lambda) = \begin{cases} k_s(\lambda) * C_{Lspek}(\lambda) * \max(\vec{N} * \vec{H}_j, 0) & \text{für } (\vec{N} * \vec{L}_j) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 6)

Approximation von Transparenz (ohne Beugung des Lichts)

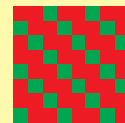
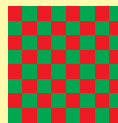


1. Interpolierte Transparenz

$$I_p = (1 - k_t) * I_1 + k_t * I_2$$

2. Screen-Door-Transparenz

$$I_p \in \{I_1, I_2\}$$

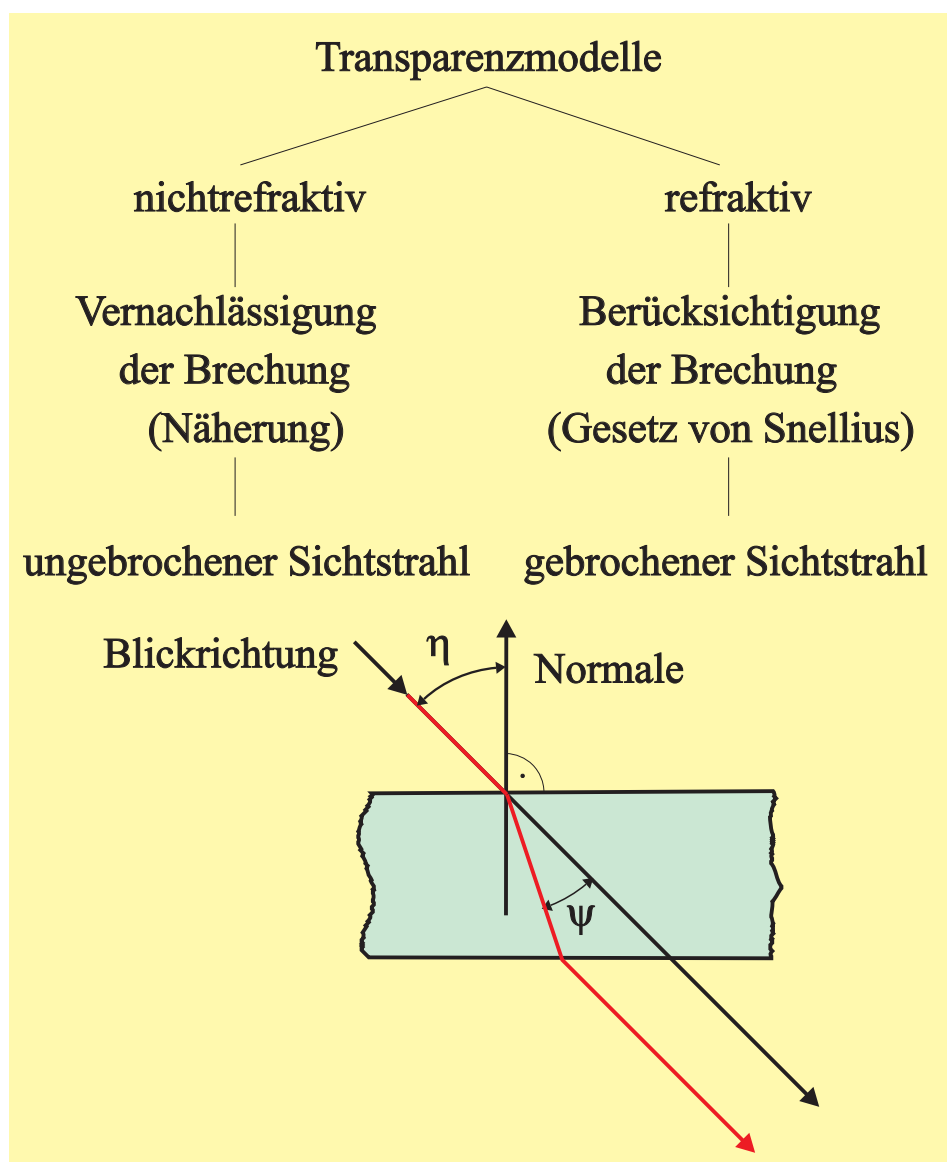


3. Gefilterte Transparenz

$$I_{p,\lambda} = I_1 + k_t(\lambda) * I_2$$

Lokale Beleuchtungsmodelle (Teil 7)

Transparenzmodelle (ohne und mit Beugung des Lichts)



Globales Beleuchtungsmodell (Teil 1)

Globales Beleuchtungsmodell für n Lichtquellen nach *Whitted*

$$L_{\text{Whitted}}(\lambda) = L_{\text{ambient}}(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) * \{L_{\text{diffus},j}(\lambda) + L_{\text{rspek},j}(\lambda)\} + k_s * L_{\text{reflekt}}(\lambda) + k_t * L_{\text{trans}}(\lambda)$$

$$L_{\text{ambient}}(\lambda) = k_a(\lambda) * E_a(\lambda)$$

$$L_{\text{diffus},j}(\lambda) = \begin{cases} k_d(\lambda) * (\vec{N} * \vec{L}_j) * I_{L_{q,j}}(\lambda) & \text{für } \vec{N} * \vec{L}_j > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$L_{\text{rspek},j}(\lambda) = k_s * (\vec{H}_j * \vec{N})^m * I_{L_{q,j}}(\lambda)$$

$$f(r_j) = \frac{1}{c_0 r_j^2 + c_1 r_j + c_2} \quad [f(\infty) = 1!]$$

$$k_s * L_{\text{reflekt}}(\lambda) + k_t * L_{\text{trans}}(\lambda)$$

Anteil des durch andere Objekte der Szene
spekular reflektierten bzw. transmittierten Lichts

Globales Beleuchtungsmodell (Teil 2)

Globales Beleuchtungsmodell für n Lichtquellen nach *Hall*

$$L_{\text{Hall}}(\lambda) = L_{\text{ambient}}(\lambda) + \sum_{j=1}^n f(r_j) \{L_{\text{diffus},j}(\lambda) + L_{\text{rspek},j}(\lambda) + L_{\text{trans},j}(\lambda)\} + L_{\text{reflekt}}(\lambda) + L_{\text{trans}}(\lambda)$$

$$L_{\text{ambient}}(\lambda) = k_a(\lambda) * E_a(\lambda)$$

$$L_{\text{diffus},j}(\lambda) = \max(k_d(\lambda) * (\vec{N} * \vec{L}_j) * I_{L_{qj}}(\lambda), 0)$$

$$L_{\text{rspek},j}(\lambda) = k_s * (\vec{H}_j * \vec{N})^m * R_f(\Theta, \lambda) * I_{L_{qj}}(\lambda)$$

$$L_{\text{trans},j}(\lambda) = k_s * (\vec{H}'_j * \vec{N})^m * T_f(\Theta, \lambda) * I_{L_{qj}}(\lambda)$$

$$f(r_j) = \frac{1}{c_0 r_j^2 + c_1 r_j + c_2} \quad [f(\infty)=1!]$$

$$\left. \begin{aligned} L_{\text{reflekt}}(\lambda) &= k_s * R_f(\eta, \lambda) * F_r(\lambda)^{\text{dr}} * L_r(\lambda) \\ L_{\text{trans}}(\lambda) &= k_s * T_f(\psi, \lambda) * F_t(\lambda)^{\text{dr}} * L_t(\lambda) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Anteile des durch andere Objekte} \\ \text{der Szene spekulär reflektierten} \\ \text{bzw. transmittierten Lichts} \end{array}$$

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 1)

Klassifizierung der Beleuchtungsalgorithmen

Inkrementelle Beleuchtungsberechnung im Bildraum

- Konstante Intensität (Flat Shading)
- Interpolation der Intensität (Gouraud Shading)
- Interpolation des Normalenvektors (Phong Shading)

Strahlverfolgung im Objektraum

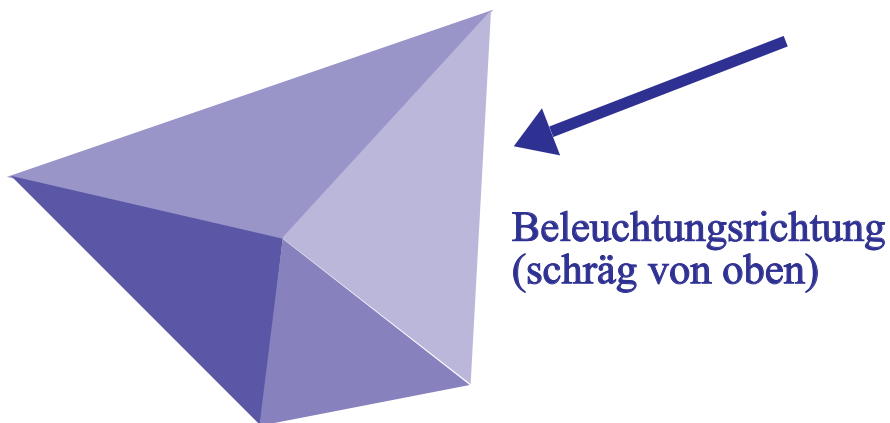
- Ray Tracing

Energieerhaltungsmodell

- Radiosity

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 2)

Konstante Intensität (Flat Shading)



Charakteristik

1. Intensität für jede Fläche konstant.

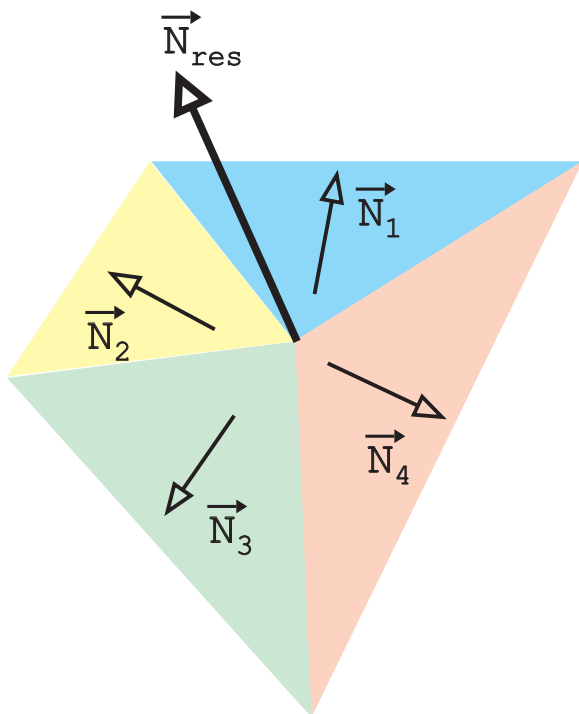
2. Beleuchtungsmodell:

$$I(\lambda) = k_a(\lambda) * E_a(\lambda) + k_d(\lambda) * (\vec{N} * \vec{L}) * I_{L_q}(\lambda)$$

3. Überhöhung der Intensitätsänderung an den Polygonkanten durch den Mach-Band-Effekt.

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 3)

Resultierender Normalenvektor $\vec{N}_{\text{res}}$ an den Polygoneckpunkten

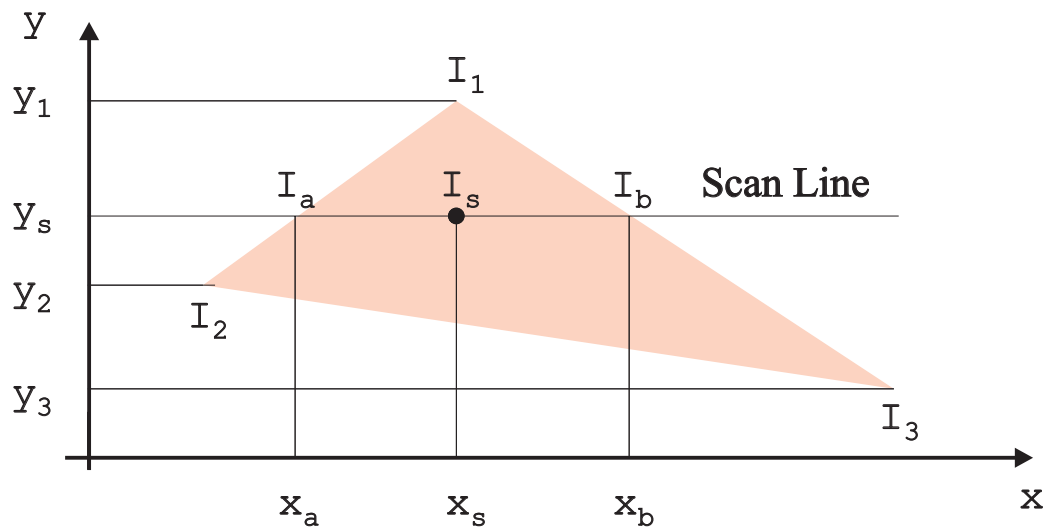


$$\vec{N}_{\text{res}} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{N}_i}{\left| \sum_{i=1}^n \vec{N}_i \right|}$$

Der Normalenvektor $\vec{N}_{\text{res}}$ wird für die beiden Beleuchtungsalgorithmen von **Gouraud** und **Phong** benötigt.

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 4)

Gouraud-Algorithmus 1 (Gouraud Shading)



$$I_a = I_1 - (I_1 - I_2) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2}$$

$$I_b = I_1 - (I_1 - I_3) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$I_s = I_b - (I_b - I_a) \frac{x_b - x_s}{x_b - x_a}$$

Inkrementeller Algorithmus für eine Scan Line:

$$I_{s,n} = I_{s,n-1} + \Delta I_s \quad \text{mit} \quad \Delta I_s = \frac{I_b - I_a}{x_b - x_a}$$

$$\text{und } I_{s,0} = I_a \quad n = 1 \dots (x_b - x_a)$$

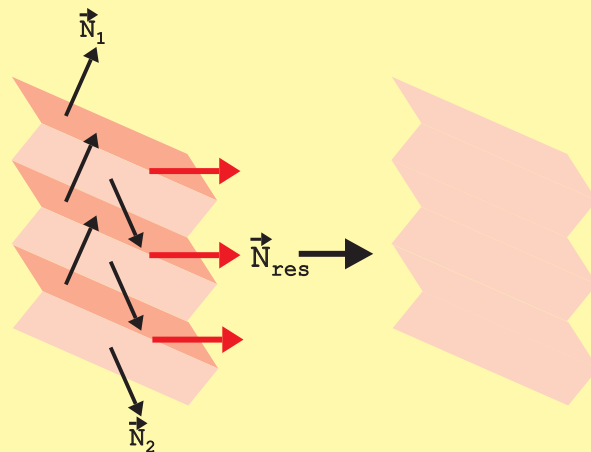
I_1, I_2, I_3 : Intensitäten an den Eckpunkten des Dreiecks.

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 5)

Gouraud-Algorithmus 2 (Gouraud Shading)

Charakteristik

1. Gewellte Oberflächen können in ungünstigen Fällen eben erscheinen.

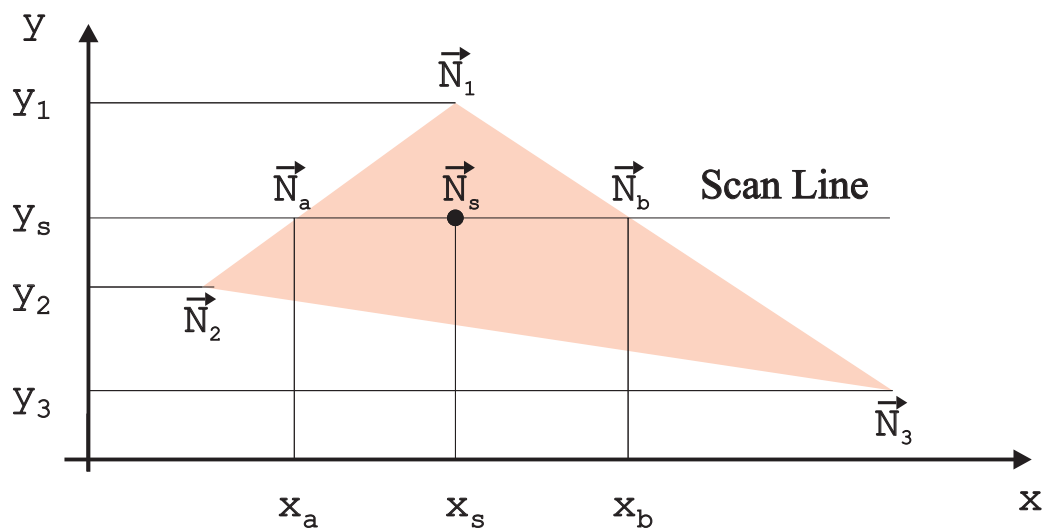


2. Schlaglichter bei der spekularen Reflexion werden nur genähert dargestellt, wenn sie Polygonecken überdecken.

3. Der Algorithmus ist vorzugsweise für die diffuse Reflexion geeignet.

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 6)

Phong-Algorithmus 1 (Phong Shading)



$$\vec{N}_a = \vec{N}_1 - (\vec{N}_1 - \vec{N}_2) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2}$$

$$\vec{N}_b = \vec{N}_1 - (\vec{N}_1 - \vec{N}_3) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$\vec{N}_s = \vec{N}_b - (\vec{N}_b - \vec{N}_a) \frac{x_b - x_s}{x_b - x_a}$$

Inkrementeller Algorithmus für eine Scan Line:

$$\vec{N}_{s,n} = \vec{N}_{s,n-1} + \Delta \vec{N}_s \quad \text{mit} \quad \Delta \vec{N}_s = \frac{\vec{N}_b - \vec{N}_a}{x_b - x_a}$$

$$\text{und} \quad \vec{N}_{s,0} = \vec{N}_a \quad n=1..(x_b - x_a)$$

$\vec{N}_1, \vec{N}_2, \vec{N}_3$: Gemittelte Normalenvektoren an den Eckpunkten des Dreiecks.

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 7)

Phong-Algorithmus 2 (Phong Shading)

Charakteristik

Gewellte Oberflächen können in ungünstigen Fällen eben erscheinen.

Schlaglichter bei der spekularen Reflexion werden durch die gemittelten Normalenvektoren gut dargestellt.

Die Berechnung der Normalenvektoren längs der Scan Line muß für jede Komponente erfolgen. Danach wird die Intensität mit dem gewählten Beleuchtungsmodell bestimmt. Damit ist das Phong Shading wesentlich langsamer als das Gouraud Shading.

Beschleunigung der Phong-Interpolation

Numerische Ansätze

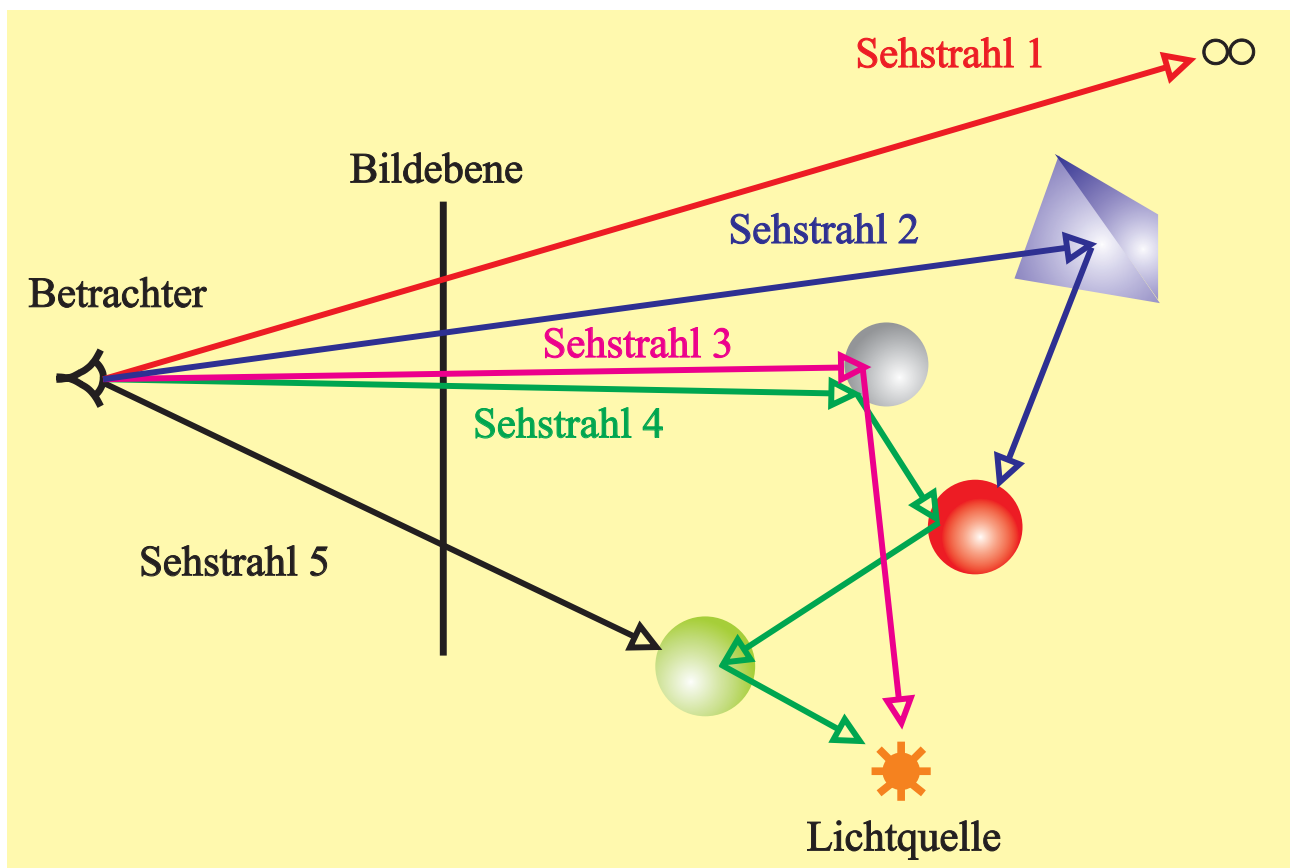
Verwendung einer
zweidimensionalen
Taylor-Reihe

Geometrische Ansätze

Test, ob ein Polygon ein
Schlaglicht (Highlight)
erhält (H-Test).
Wenn nicht, Anwendung
des Gouraud-Shading

Beleuchtungsalgorithmen (Teil 8)

Ray Tracing (1)



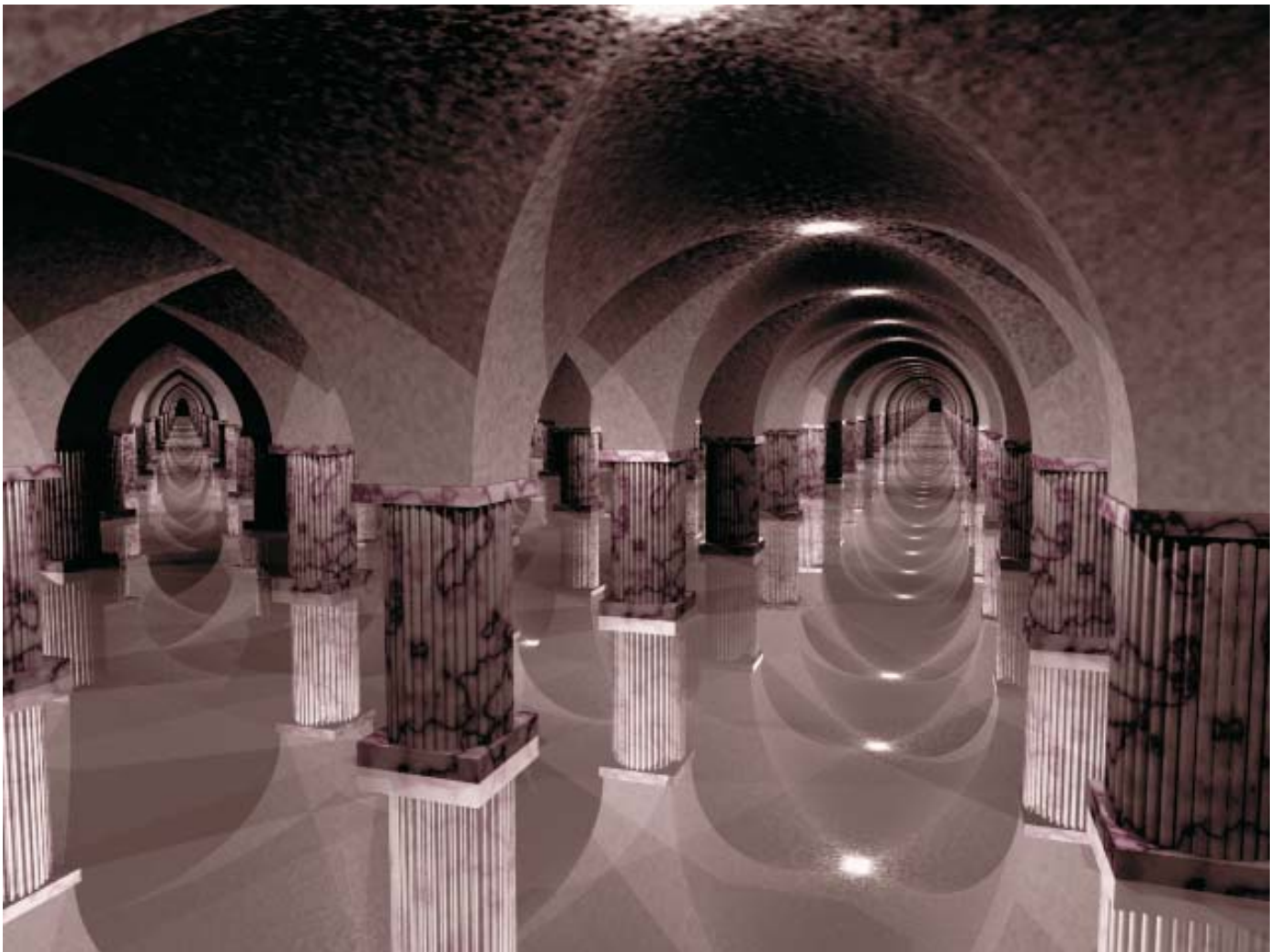
Beleuchtungsalgorithmen (Teil 9)

Ray Tracing (2)



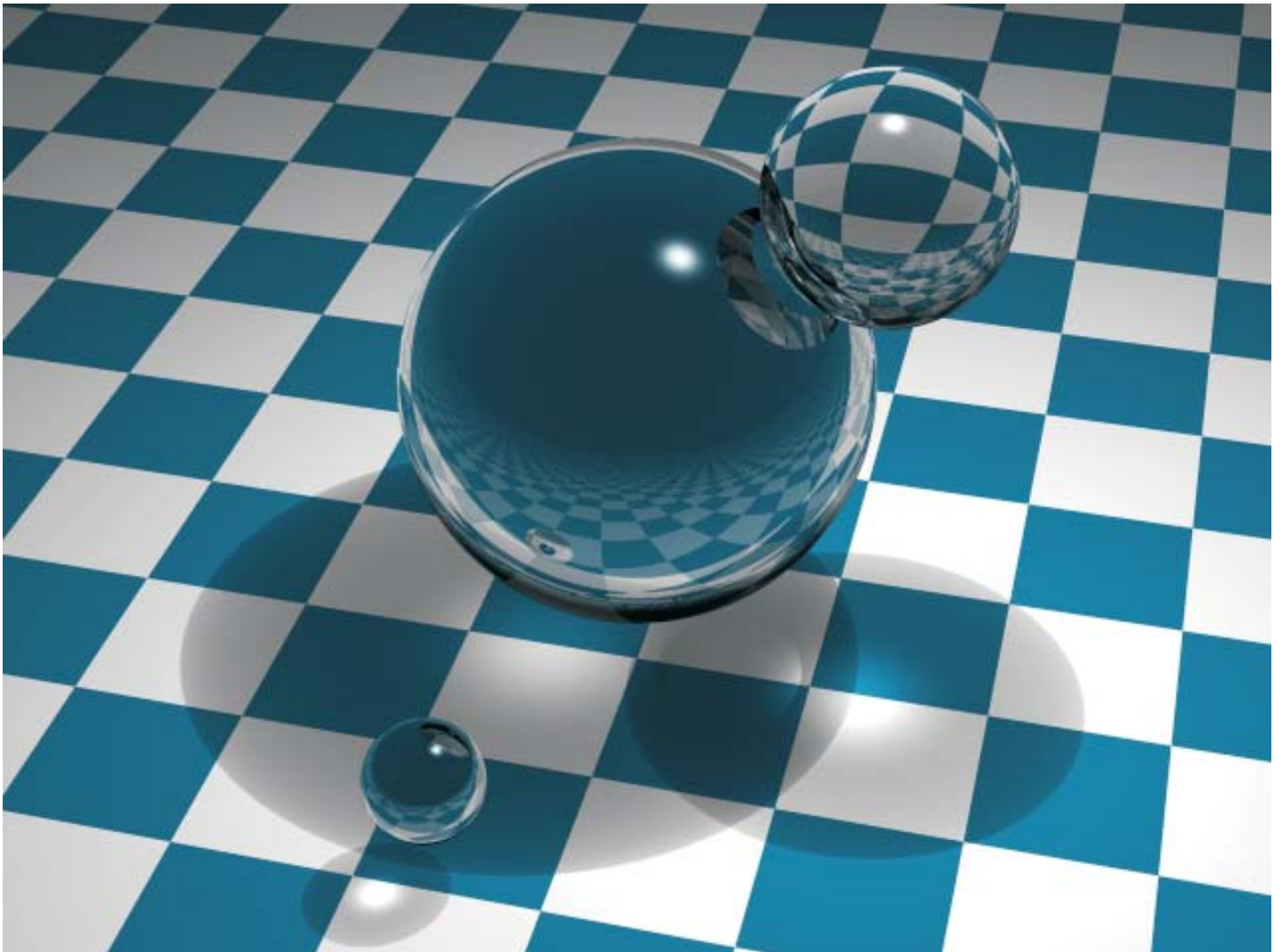
Beleuchtungsalgorithmen (Teil 10)

Ray Tracing (3)



Beleuchtungsalgorithmen (Teil 11)

Ray Tracing (4)



Beleuchtungsalgorithmen (Teil 10)

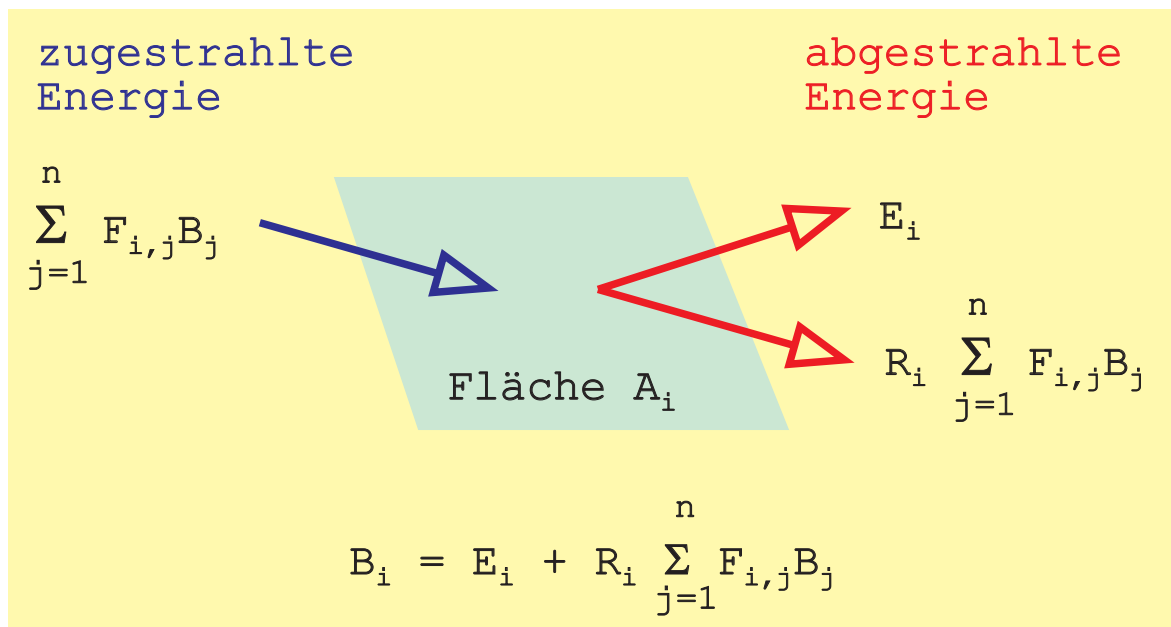
Radiosity (1)

Grundlagen

Erster Hauptsatz der Thermodynamik
(Robert Mayer, 1842):

"Die Energiesumme in
einem abgeschlossenen
System ist konstant".

Lichtstrahlung ist eine Energieform, damit
erster Hauptsatz anwendbar (Radiosity-
Verfahren = Strahlungsverfahren).



Beleuchtungsalgorithmen (Teil 11)

Radiosity (2)



Beleuchtungsalgorithmen (Teil 12)

Vergleich von Ray Tracing und Radiosity

Ray Tracing

Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Beleuchtung

Diffuse und spekulare Reflexion, spekulare Transmission

Punktlichtquellenmodelle

Beleuchtungsraum wird punktwise abgetastet

Berechnung ist abhängig von der Beobachterposition

Radiosity

Keine Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Beleuchtung

Nur diffuse Reflexion und Transmission

Flächenlichtquellenmodelle

Über Beleuchtungsraum wird integriert

Berechnung unabhängig von der Beobachterposition