Interaktive Computergrafik

Prof. Dr. Frank Steinicke
Human-Computer Interaction
Department of Computer Science
University of Hamburg

Interaktive Computergrafik

Lektion 7

Prof. Dr. Frank Steinicke
Human-Computer Interaction, Universität Hamburg

Beleuchtungsgleichung

Komponentenprodukt

Komponentenprodukt   Wie stark soll es reflektieren   Skalarprodukt

1 bei 0°, 0 bei 90° oder höher, da cosinus bei >90° negativ ist, also das maximum Option

Skalarprodukt

$$I = \boxed{I_a \cdot k_a} + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot \left(\boxed{I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, \underbrace{N \cdot L_i}_{\text{cosinus von Winkel zwischen N und L}})} + \boxed{I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, \underbrace{R_i \cdot V}_{\text{cosinus von Winkel zwischen R und V}})^n} \right)$$

(Maximal, wenn N und L aufeinander liegen)

(Maximal, wenn Winkel = 0, also wenn sie aufeinander liegen)

ambient   Lichtfarbe   Wie soll das Licht reflektieren   diffus   spekular

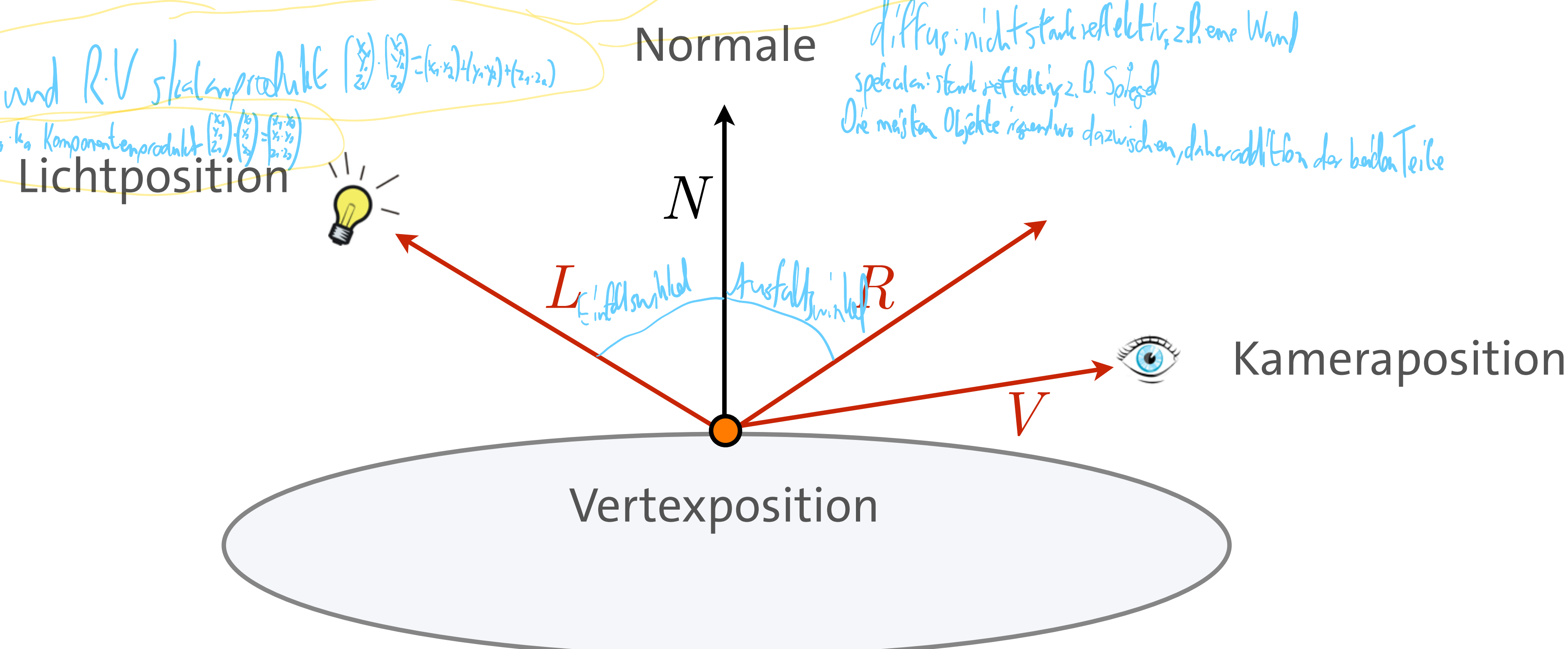
N·L und R·V Skalarprodukt $\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = (x_1 \cdot x_2) + (y_1 \cdot y_2) + (z_1 \cdot z_2)$

$I_a \cdot k_a$ Komponentenprodukt $\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \cdot x_3 \\ y_1 \cdot y_3 \\ z_1 \cdot z_3 \end{pmatrix}$

diffus: nicht stark reflektiv, z.B. eine Wand

spekular: stark reflektiv, z.B. Spiegel

Die meisten Objekte irgendwo dazwischen, daher Addition der beiden Teile



N = Normale

L = Einfallswinkel Lichtquelle

R = Ausfallwinkel Licht

V = Vektor zur Kamera, Blickrichtung

Diskussion

Welche **Eigenschaften der Lichtquellen** fließen in die Beleuchtungsberechnung ein?

Koeffizienten

Lichtquelle

- Diffuse Intensität I_d
- Spekulare Intensität I_s
- Lichtabschwächungs-Faktor f_{att}
  (mit Konstanten c_1, c_2 und c_3)
- Position (bei Punktlichtquelle)

Alle Intensitäten sind vec3 mit Werten für R, G und B!

Diskussion

Welche **objektspezifischen Eigenschaften** fließen in die Beleuchtungsberechnung ein?

Koeffizienten

Objekt

- Diffuser Reflexionskoeffizient k_d
- Spekularer Reflexionskoeffizient k_s
- Ambienter Reflexionskoeffizient k_a
- Spekularer Exponent n

Alle Materialkoeffizienten sind vec3 mit Werten für R, G und B!

Diskussion

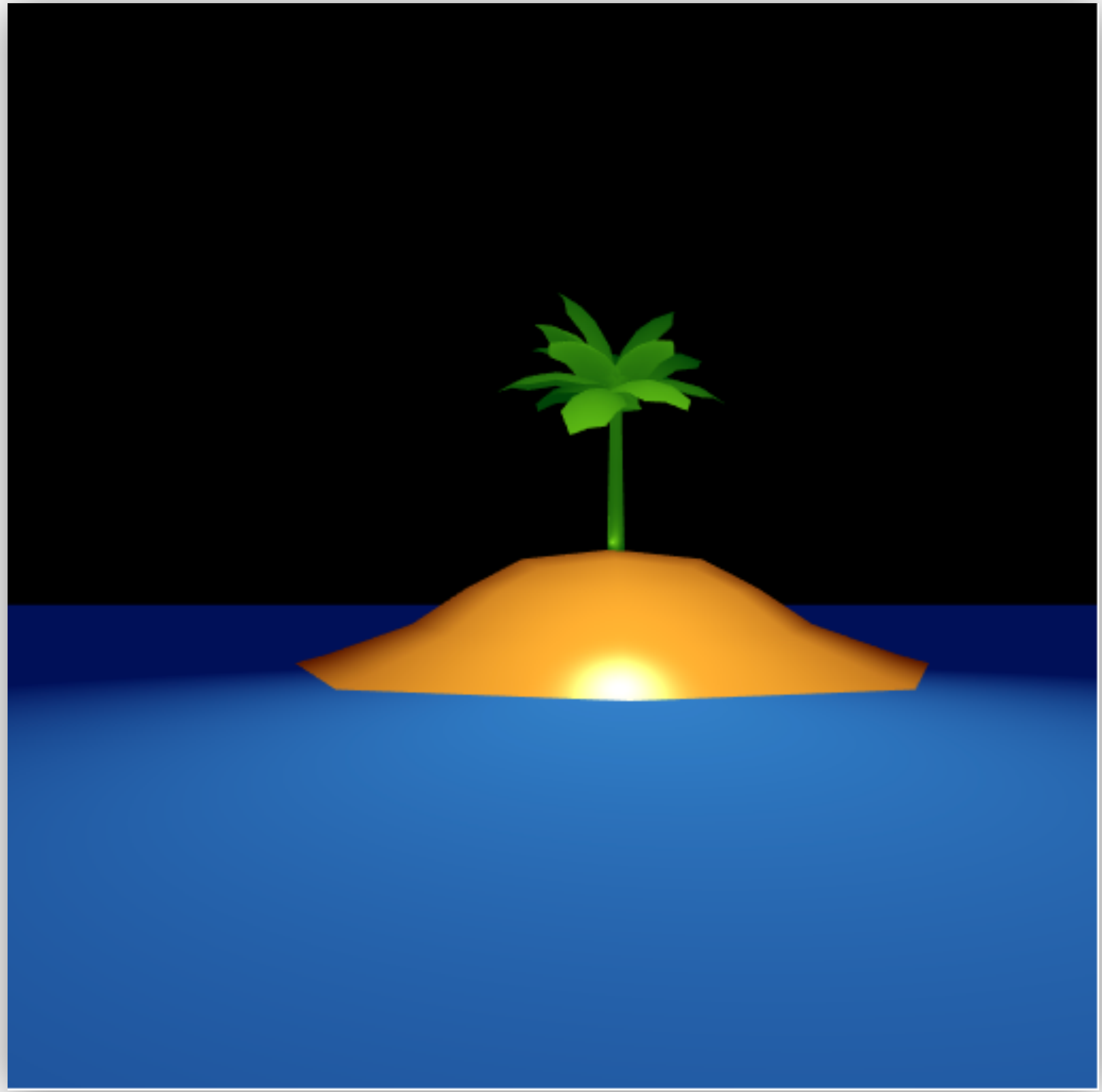
Welche **allgemeinen Eigenschaften der Szene** fließen in die Beleuchtungsberechnung ein?

Koeffizienten

Szene

- Ambiente Intensität I_a

Beispiel



Diskussion

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

Werden Intensitäten und Materialkoeffizienten **komponentenweise** oder als **Skalarprodukt** miteinander multipliziert?

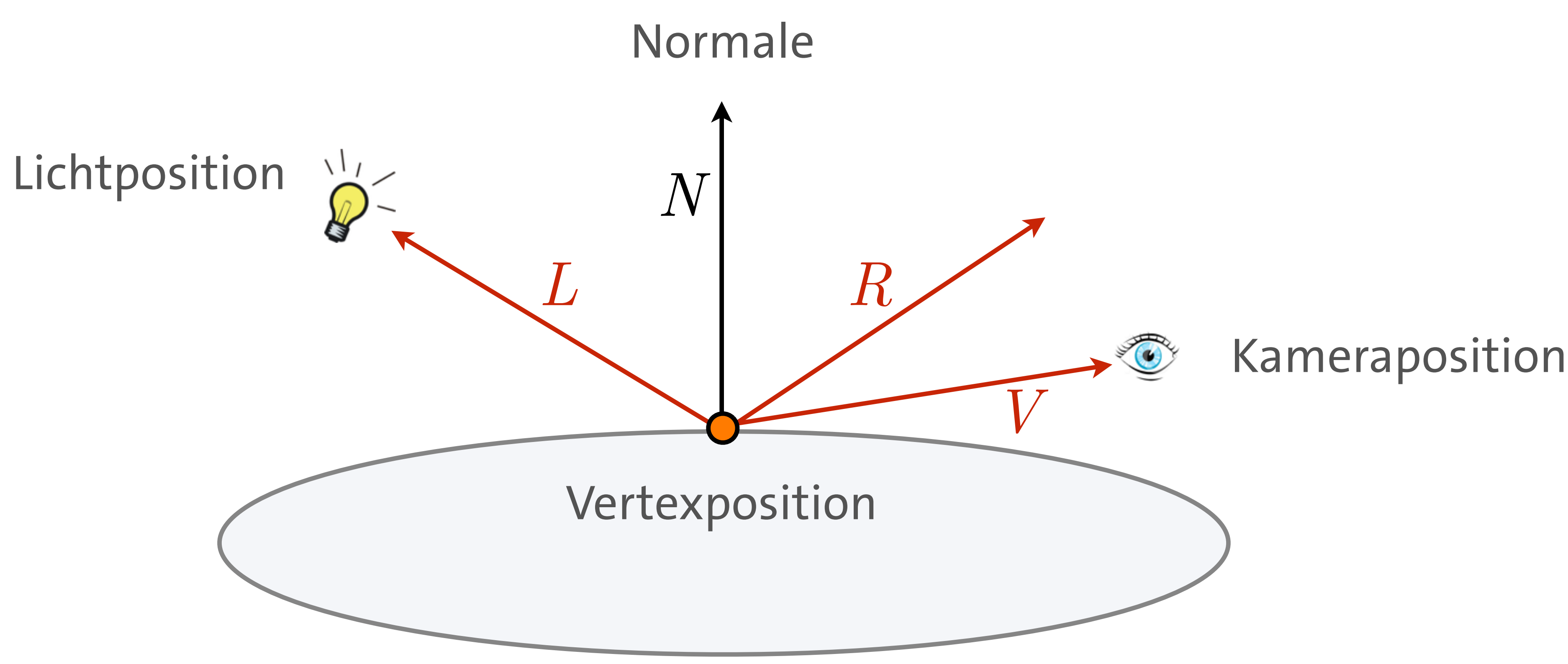
Diskussion

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

Werden N und L bzw. R und V jeweils **komponentenweise** oder als **Skalarprodukt** miteinander multipliziert?

Beleuchtungsgleichung

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$



N·L$_i$ und R$_i$·V sind Skalarprodukte, I$_x$·k$_x$ komponentenweise Produkte!

Diskussion

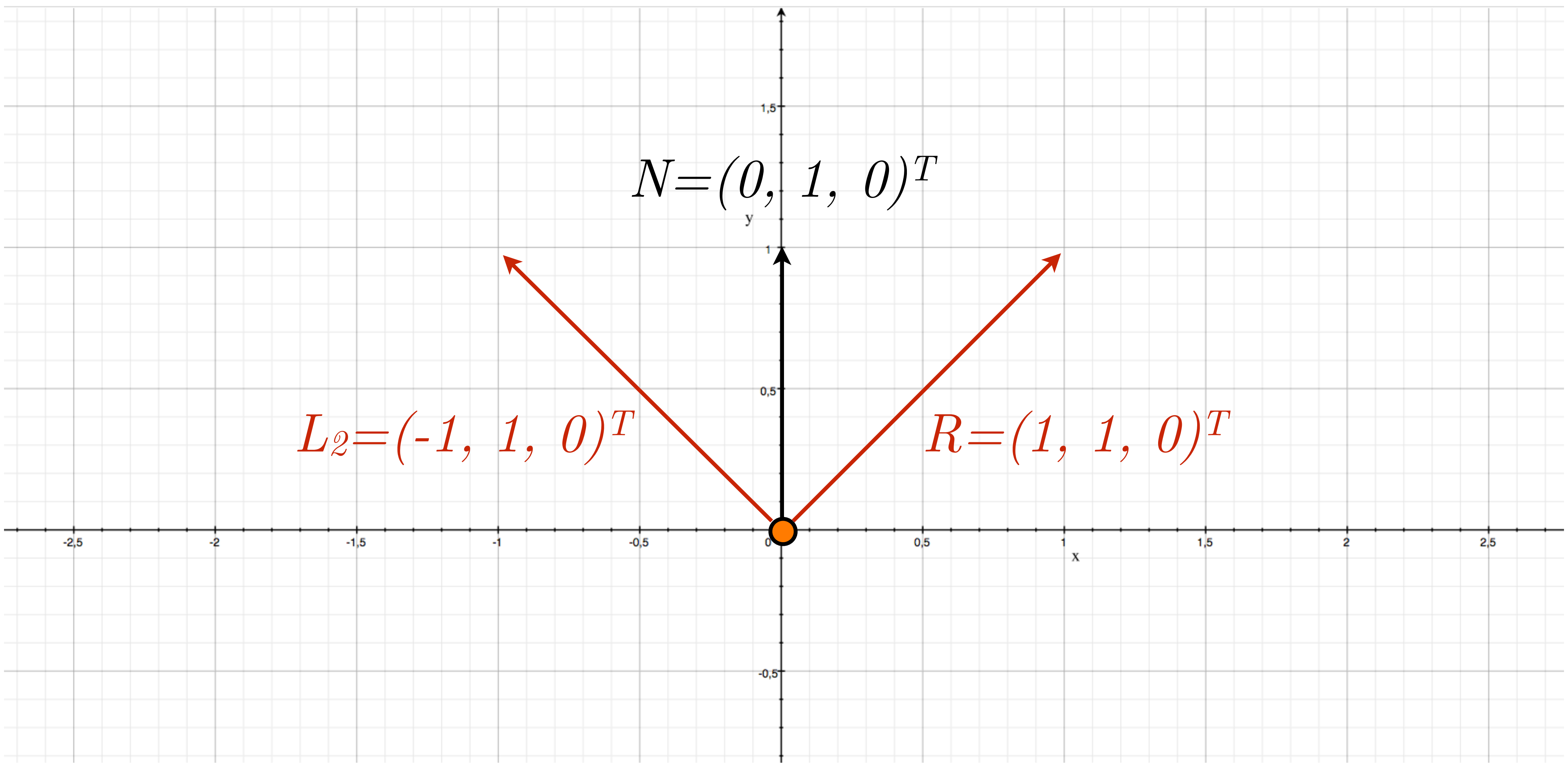
Wie kann zu einem Vektor L zwischen Vertex und Lichtquelle der zugehörige Reflexionsvektor R bestimmt werden?

Reflexionsvektor

1. Grafische Lösung
2. Rechnerische Lösung laut Vorlesung
3. Rechnerische Lösung anhand GLSL-Funktion `reflect`

Reflexionsvektor

Grafische Lösung



Reflexionsvektor
Berechnung laut Vorlesung

- $R = N * \cos(\theta) + S$
  $S = N * \cos(\theta) - L_{norm}$
  $\cos(\theta) = dot(L_{norm}, N)$

  $\Rightarrow R = 2 * N * dot(L_{norm}, N) - L_{norm}$

- Beispiel:
  - $$R = 2 \cdot (0,1,0)^T \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) - \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T$$
    $$= \left(0, \frac{2}{\sqrt{2}}, 0\right)^T + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T$$

Reflexionsvektor

Berechnung laut GLSL

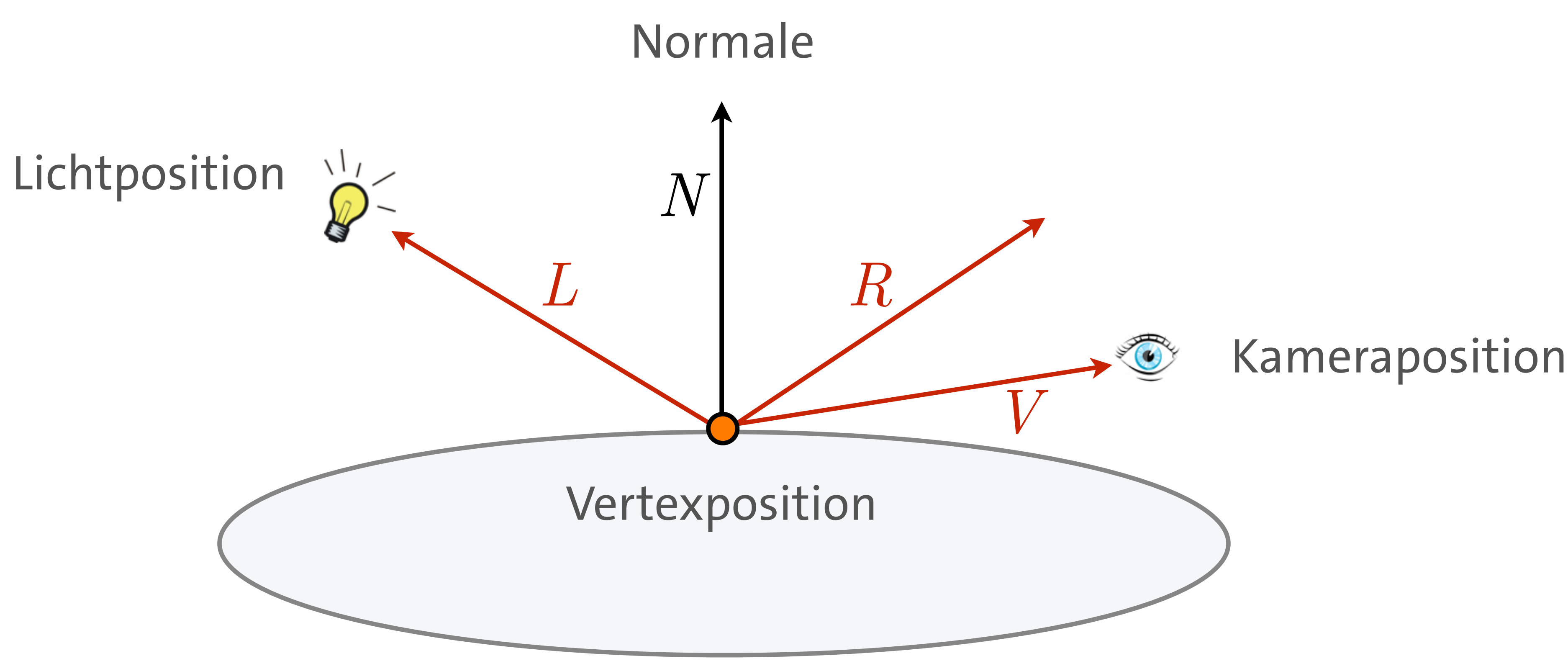
- reflect: R = I - 2.0 * dot(N, I) * N, mit
  I: normalisierter Einfallsvektor (= -L_{norm})
  N: Normalenvektor

- Beispiel:
  - $I = -L_{norm} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T, N = (0, 1, 0)^T$
  - $R = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T - 2.0 \cdot \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \cdot (0, 1, 0)^T$

    $= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T + \left(0, \frac{2}{\sqrt{2}}, 0\right)^T = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)^T$

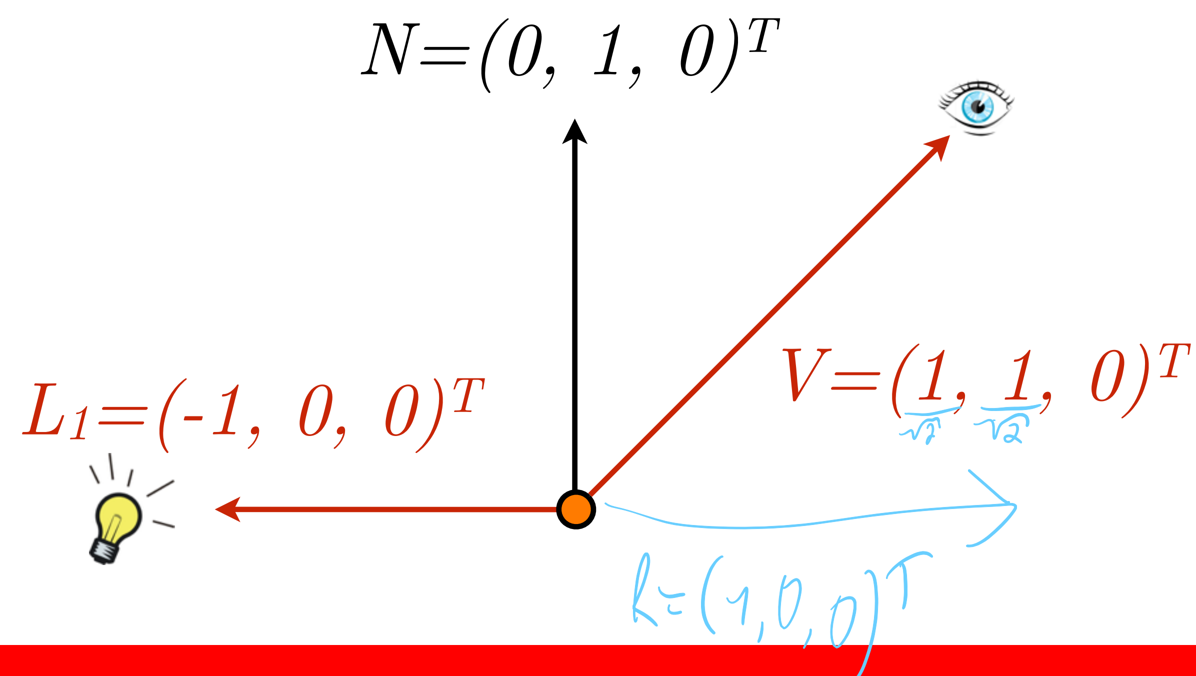
Beleuchtungsgleichung

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (\underbrace{\boxed{I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i)}}_{\text{diffus}} + \underbrace{\boxed{I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n}}_{\text{spekular}})$$



Beispiel

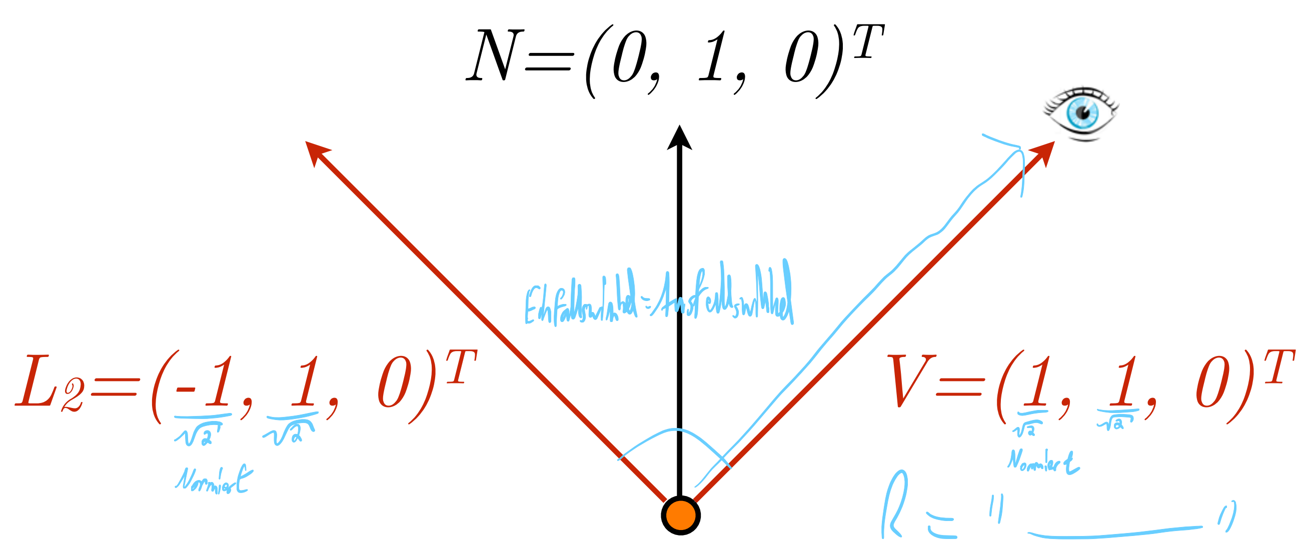
$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \underline{\max(0, N \cdot L_i)} + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \underline{\max(0, R_i \cdot V)^n})$$



Berechnen Sie die Faktoren für den diffusen und spekularen Anteil für die Lichtquelle 1.

Beispiel

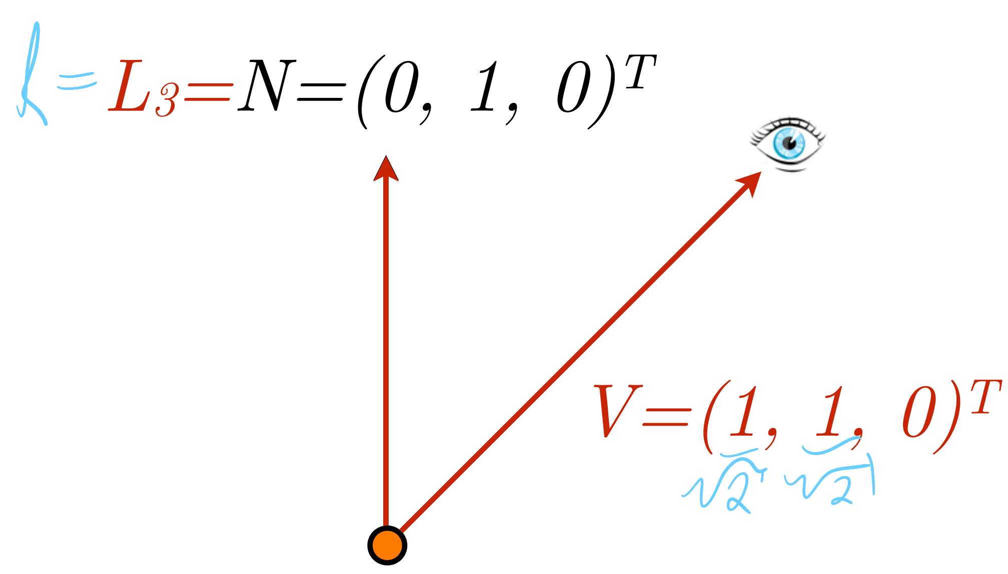
$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$



Berechnen Sie die Faktoren für den diffusen und spekularen Anteil für die Lichtquelle 2.

Beispiel

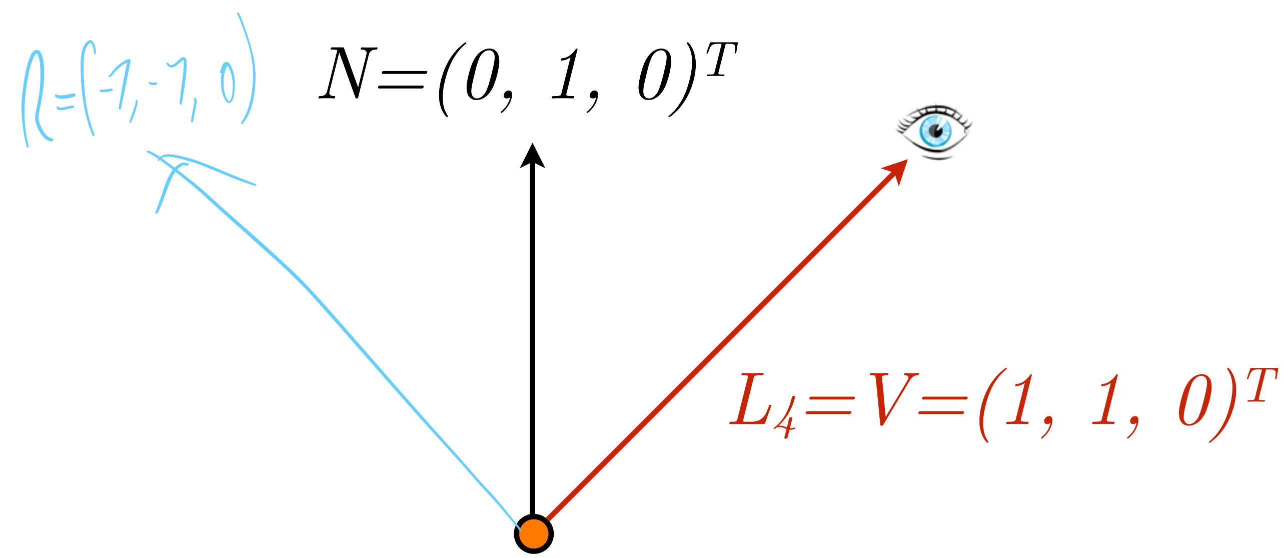
$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \underline{\max(0, N \cdot L_i)} + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \underline{\max(0, R_i \cdot V)^n})$$



Berechnen Sie die Faktoren für den diffusen und spekularen Anteil für die Lichtquelle 3.

Beispiel

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \underline{\max(0, N \cdot L_i)} + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \underline{\max(0, R_i \cdot V)^n})$$

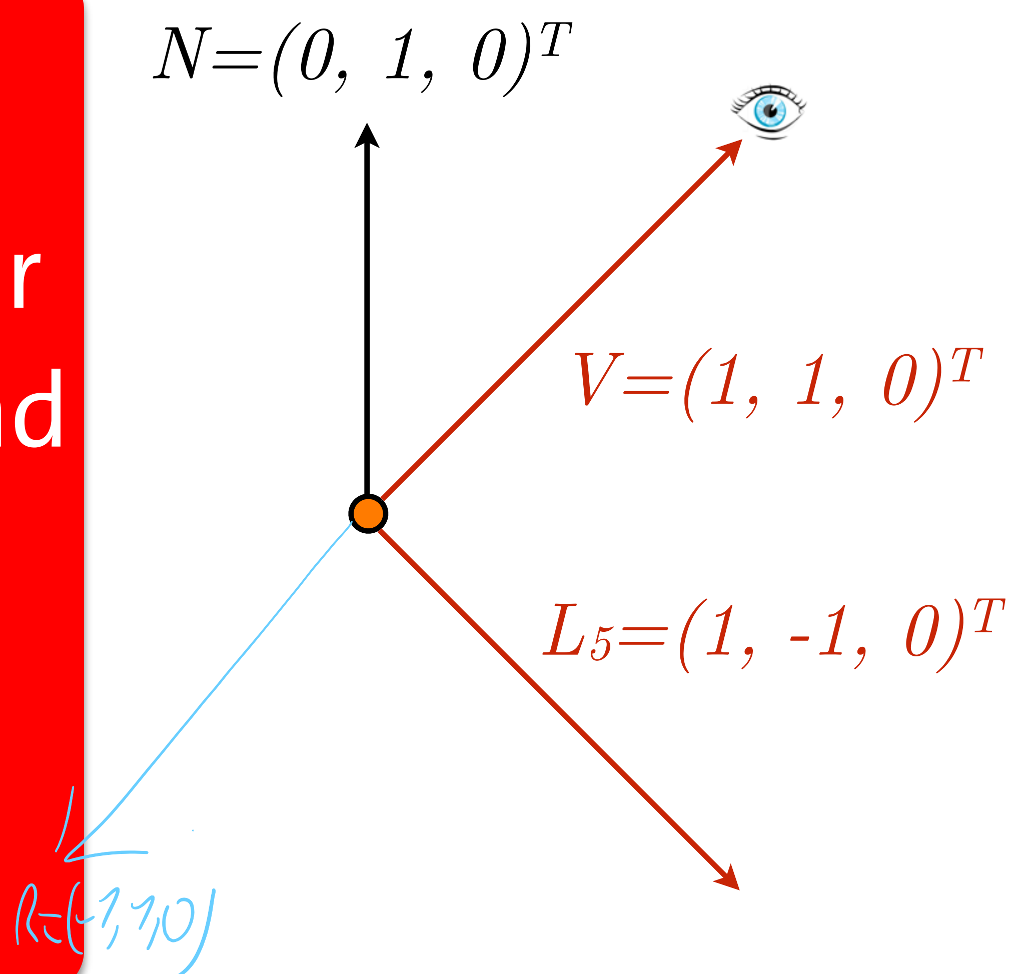


Berechnen Sie die Faktoren für den diffusen und spekularen Anteil für die Lichtquelle 4.

Beispiel

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

Berechnen Sie die Faktoren für den diffusen und spekularen Anteil für die Lichtquelle 5.



Beleuchtungsgleichung
Implementierung

- Bisherige Annahme: Alle Vektoren N, L, R und V sind in selbem Koordinatensystem gegeben
- Reales Szenario: Vektoren liegen gar nicht oder nur in unterschiedlichen Koordinatensystemen vor

Wie können alle Vektoren bestimmt und in selbes Koordinatensystem überführt werden?

Beleuchtungsgleichung
Implementierung

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

- Gesucht: N, L, R, V (in Kamerakoordinaten!)
- Gegeben:
  - Lichtposition (in Weltkoordinaten)
  - Vertexposition (in Objektkoordinaten)
  - Normalen (in Objektkoordinaten)
  - Model- und View-Matrix

Beleuchtungsgleichung

Implementierung: L

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

- L ist der Vektor zwischen Vertex und Lichtquelle
- Position der Lichtquelle in Weltkoordinaten → Multiplikation mit View-Matrix
- Vertexposition in Objektkoordinaten → Multiplikation mit Model- und View-Matrix

Beleuchtungsgleichung
Implementierung: N

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

- N ist Vertexnormale in Objektkoordinaten
- Transformation der Vertexposition von Objekt- in Kamerakoordinaten → Multiplikation mit Model- und View-Matrix
- Transformation der Vertexnormalen von Objekt- in Kamerakoordinaten → ?

Normalentransformation

- Anwendung der Transformation T auf Vertices V_i :

$$V_i' = T \cdot V_i$$

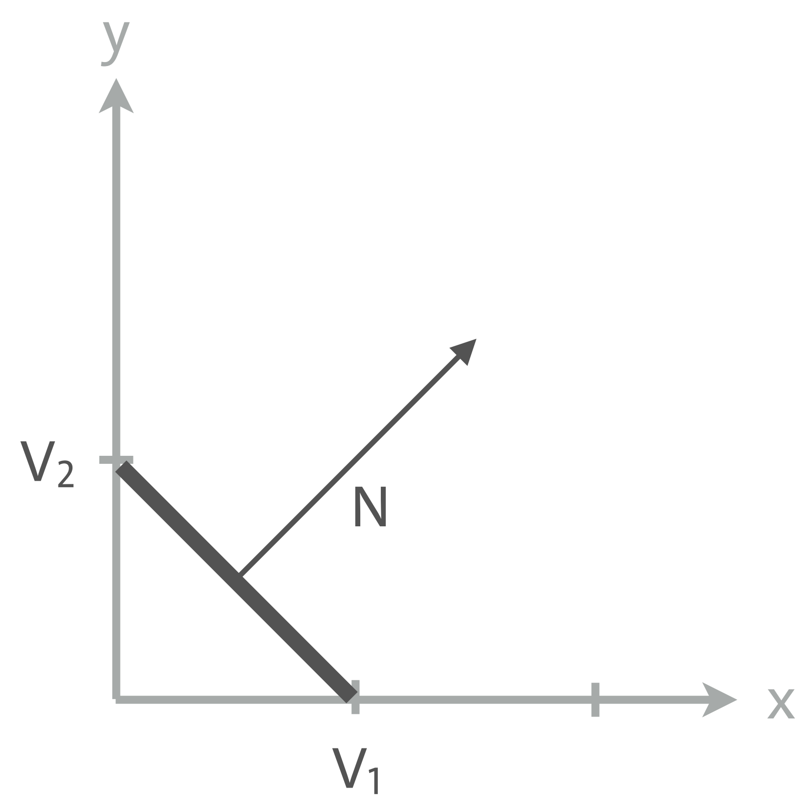
- Dann gilt für zugehörige Normalen:

$$N_i' = (T^T)^{-1} \cdot N_i$$

Normalentransformation

Beispiel

- 3D-Ebene aus Sicht der z-Achse:



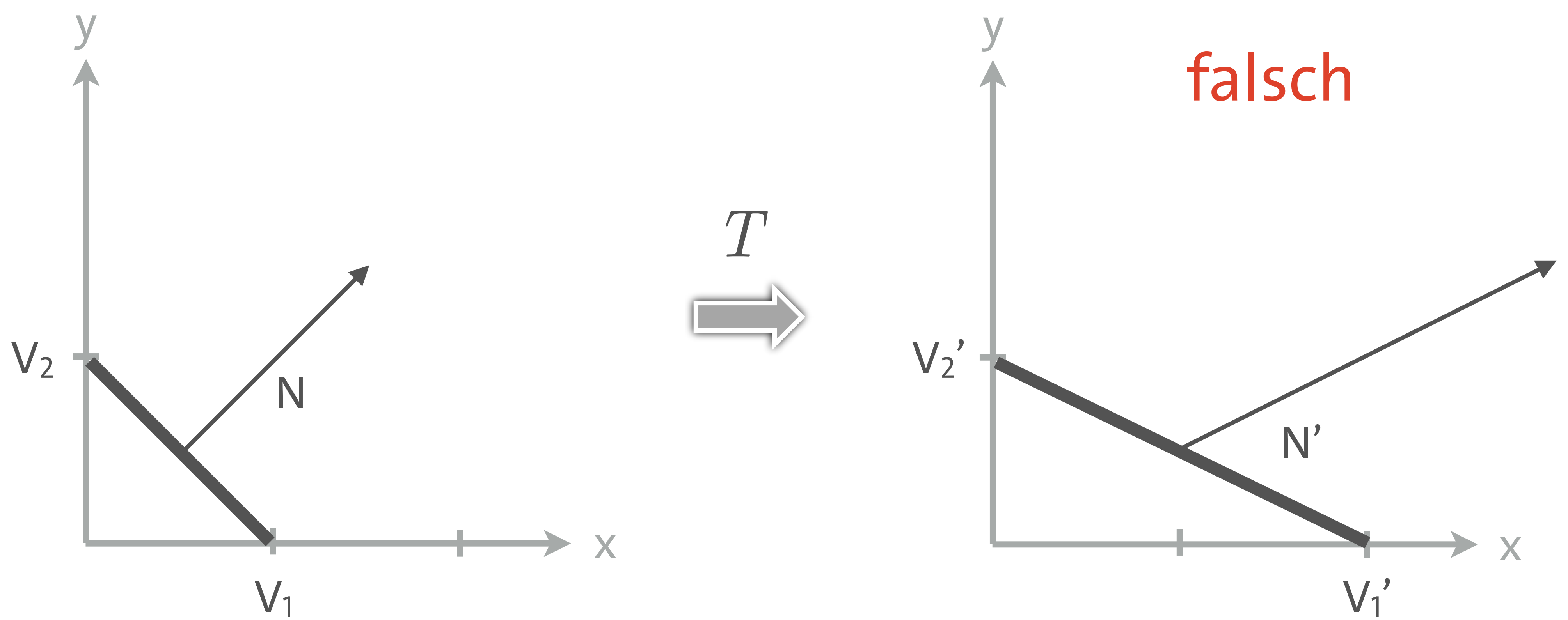
$$
\begin{aligned}
V_1 &= (1,\ 0,\ 0,\ 1)^T \\
V_2 &= (0,\ 1,\ 0,\ 1)^T \\
N &= (1,\ 1,\ 0,\ 0)^T
\end{aligned}
$$

$$
T = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

- Non-uniforme Skalierung um Matrix T

Normalentransformation

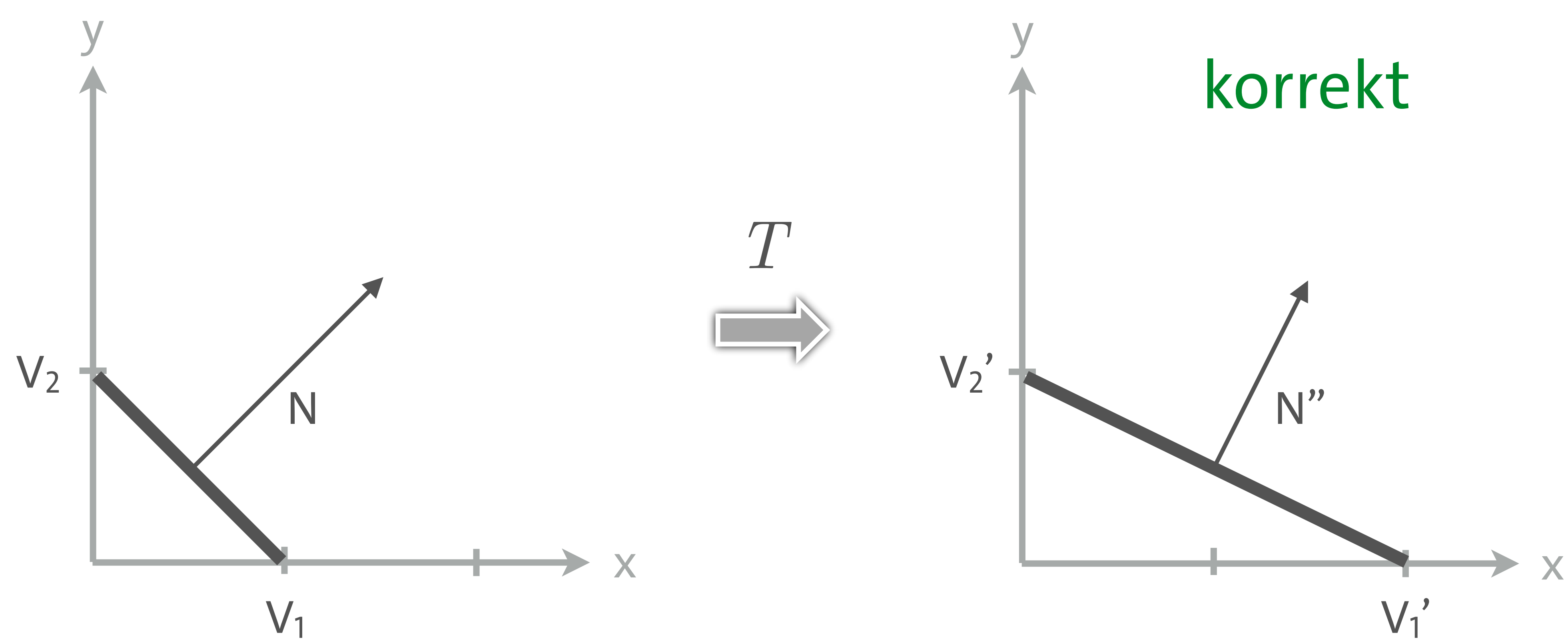
Beispiel



$$V_1' = T \cdot V_1 = (2,\ 0,\ 0,\ 1)^T$$
$$V_2' = T \cdot V_2 = (0,\ 1,\ 0,\ 1)^T$$
$$N' = T \cdot N = (2,\ 1,\ 0,\ 0)^T$$

Normalentransformation

Beispiel



$$V_1' = T \cdot V_1 \qquad = (2,\ 0,\ 0,\ 1)^T$$

$$V_2' = T \cdot V_2 \qquad = (0,\ 1,\ 0,\ 1)^T$$

$$N'' = (T^T)^{-1} \cdot N \quad = (0.5,\ 1,\ 0,\ 0)^T$$

Matrix transponieren dann invertieren dann mit Normale multiplizieren

Beleuchtungsgleichung
Implementierung: R

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

- Setzt voraus, dass L bereits in Kamerakoordinaten überführt wurde
- Anschließend: siehe Folien 14 bis 18

Beleuchtungsgleichung

Implementierung: V

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_{i=1}^{m} f_{att_i} \cdot (I_{d_i} \cdot k_d \cdot \max(0, N \cdot L_i) + I_{s_i} \cdot k_s \cdot \max(0, R_i \cdot V)^n)$$

- V ist Vektor zwischen Vertex und Kamera
- Setzt voraus, dass Vertexposition bereits in Kamerakoordinaten überführt wurde
- Wie ist Kameraposition im Kamerakoordinatensystem?