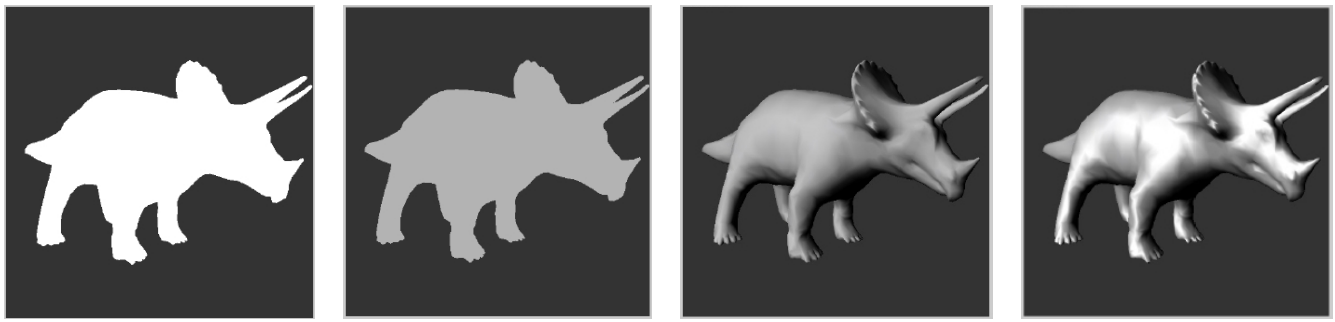
OpenGL Beleuchtungsmodell (Phong-Beleuchtungsmodell)

- Licht kommt von mehreren Lichtquellen
- Verdeckung von Lichtquellen durch andere Objekte nicht berücksichtig (kein Schattenwurf)
- Lichtapproximation: Rote, Grüne, Blaue Komponente
- 4 Beleuchtungskomponenten, die unabhängig voneinander berechnet werden

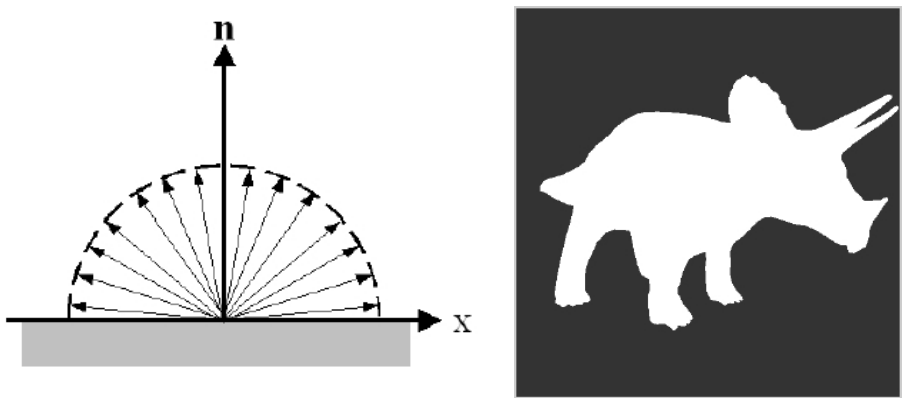
  Vertexfarbe = emmisiv + ambient + diffus + spekular



(Nischwitz *et al.*, 2011)

Emmisive Materialeigenschaft

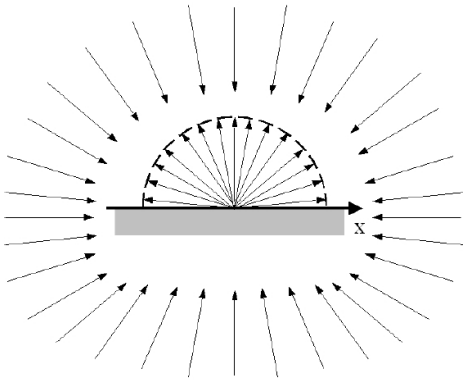
- Selbstleuchtende Oberfläche
- Licht gleichmäßig ausgesendet in alle Richtungen
- Allein durch die emmisiven Eigenschaften des Materials festgelegt



(Nischwitz *et al.*, 2011)

Ambienter Lichtanteil

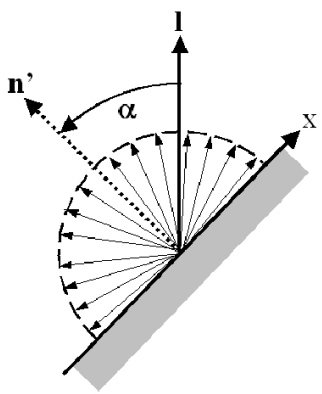
- Streulicht
- Kommt mit gleicher Intensität aus allen Richtungen, wird an der Oberfläche gleichmäßig in alle Richtungen gestreut
- Festgelegt durch die ambiente Eigenschaften der Lichtquelle und des Materials



(Nischwitz *et al.*, 2011)

Diffuser Lichtanteil

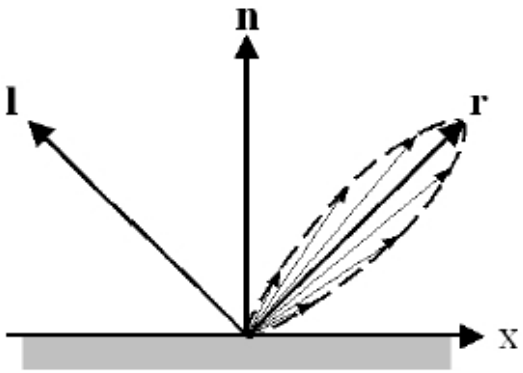
- Das gerichtete Licht, das von einer Punktquelle kommt
- Licht kommt aus einer Richtung, wird an der Oberfläche gleichmäßig in alle Richtungen gestreut
- Lichtintensität abhängig von der Orientierung der Oberfläche zur Lichtquelle (unabhängig von der Position des Beobachters), der Position und Farbe der Lichtquelle und Reflexionseigenschaften der Oberfläche



(Nischwitz *et al.*, 2011)

Spekularer Lichtanteil

- Das gerichtete Licht, das von einer Punktquelle kommt
- Licht kommt aus einer Richtung, wird an der Oberfläche überwiegend in eine Vorzugsrichtung (ideale Reflexionsrichtung) reflektiert
- Lichtintensität abhängig von der Position und der Farbe der Lichtquelle, der Orientierung und den Reflexionseigenschaften der Oberfläche, der Position des Beobachters

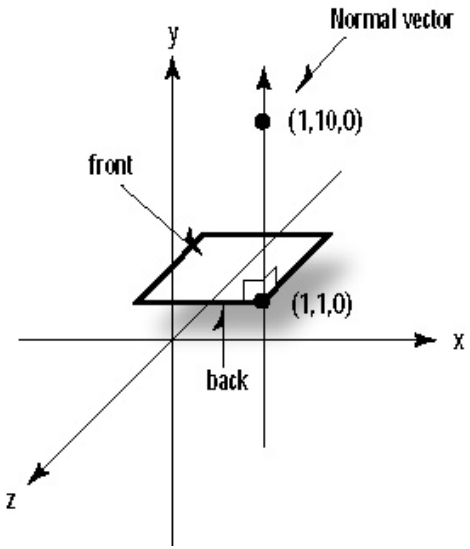


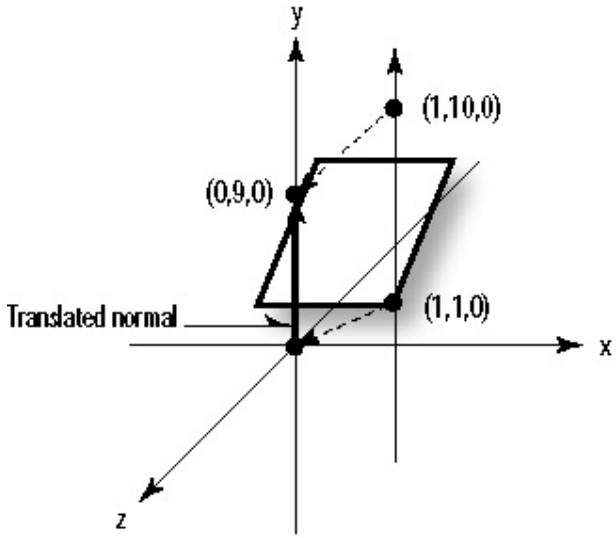
(Nischwitz *et al.*, 2011)

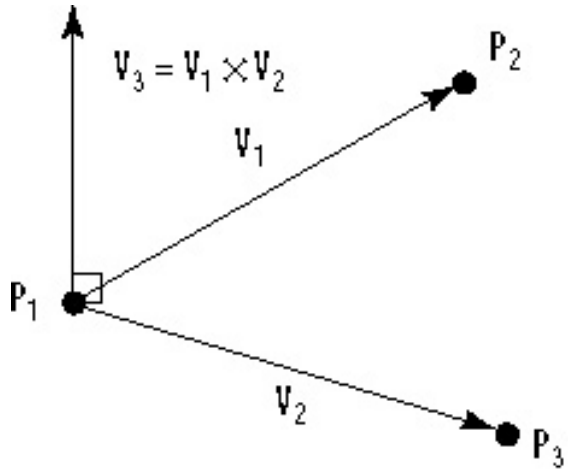
Lichtberechnung

- Normalenvektoren für jeden Vertex (Fläche) definieren
- Lichtquellen erstellen
- Beleuchtungsmodell festlegen
- Materialeigenschaften festlegen

Normalenvektoren







(Wright, Sweet, 2000)

- **glNormal***
- **glEnable**, **glDisable** mit GL_NORMALIZE, GL_RESCALE_NORMAL

```
gl.glBegin(GL.GL_QUADS);
    gl.glNormal3f(0.0f, 1.0f, 0.0f);
    gl.glVertex3f(-1.0f, 0.0f, 1.0f);
    gl.glVertex3f( 1.0f, 0.0f, 1.0f);
    gl.glVertex3f( 1.0f, 0.0f,-1.0f);
    gl.glVertex3f(-1.0f, 0.0f,-1.0f);
gl.glEnd();
```

- Konvention: Normalen zeigen nach aussen der modelierten Oberfläche

Lichtquelleneigenschaften

- **glLight{if}**(int *light*, int *pname*, TYPE *param*)
- **glLight{if}v**(int *light*, int *pname*, TYPE[] *params*, int *params_offset*)

  light - GL_LIGHT0, GL_LIGHT1, . . . , GL_LIGHT7

Eigenschaft `name`	Standard-Werte von `param`	Bedeutung
`GL_AMBIENT`	$(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)$	RGBA-Intensitäten für den ambienten Anteil der Lichtquelle
`GL_DIFFUSE`	$(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$ oder $(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)$	RGBA-Intensitäten für den diffusen Anteil der Lichtquelle. Der Standardwert für die Lichtquelle `0` ist weiß, für die anderen Lichtquellen schwarz
`GL_SPECULAR`	$(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$ oder $(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)$	RGBA-Intensitäten für den spekularen Anteil der Lichtquelle. Der Standardwert für die Lichtquelle `0` ist weiß, für die anderen Lichtquellen schwarz
`GL_POSITION`	$(0.0, 0.0, 1.0, 0.0)$	(x,y,z,w)-Position der Lichtquelle. w = 0 bedeutet, dass die Lichtquelle im Unendlichen sitzt

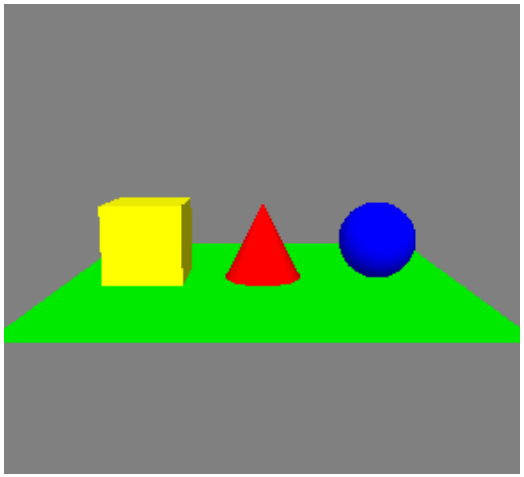
GL_POSITION entspricht einem Punkt im homogenen Koordinatensystem: (Nischwitz *et al.*, 2011)

Sonne, Mond: **w=0** Glühbirne, Scheinwerfer: **w=1**

Aktivierung von Beleuchtungsrechnung und Lichtquellen

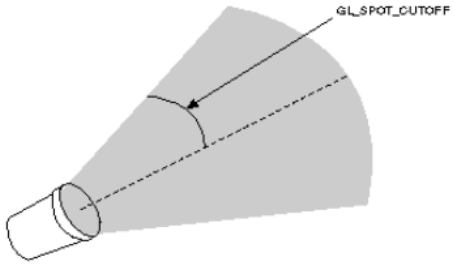
- Beleuchtungsrechnung ein-, ausschalten:
  glEnable(GL_LIGHTING), **glDisable**(GL_LIGHTING)
- Lichtquelle (Nr. 0) ein-, ausschalten:
  glEnable(GL_LIGHT0), **glDisable**(GL_LIGHT0),
  ...

Richtungslichtquelle (d.h. w=0) - Beispiel

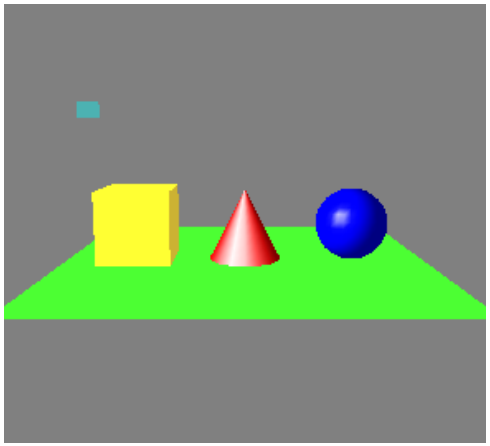


```
float light0_ambient[] = {0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f};
float light0_diffuse[] = {0.7f, 0.7f, 0.7f, 1.0f};
float light0_specular[] = {0.7f, 0.7f, 0.7f, 1.0f};
float light0_position[] = {0.0f, 1.0f, 2.0f, 0.0f};

public void init(GLAutoDrawable drawable) {
    ...

    // enable lighting (default is off)
    gl.glEnable(GL.GL_LIGHTING);

    // set up and enable light 0
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT0, GL.GL_AMBIENT, light0_ambient, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT0, GL.GL_DIFFUSE, light0_diffuse, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT0, GL.GL_SPECULAR, light0_specular, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT0, GL.GL_POSITION, light0_position, 0);

    gl.glEnable(GL.GL_LIGHT0);
}

...
```

Spotlights (Scheinwerfer), Abschwächungsfaktoren



`http://www.glprogramming.com/red/chapter05.html`

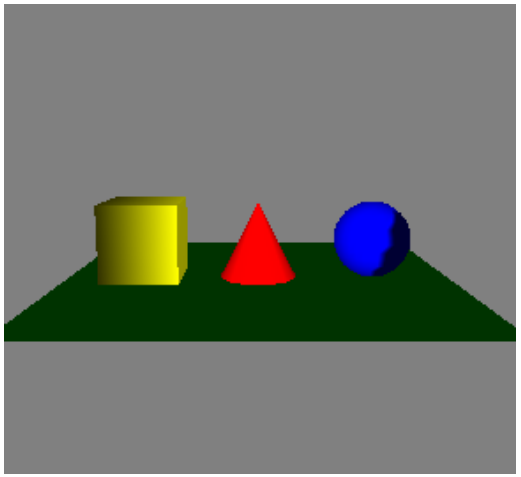


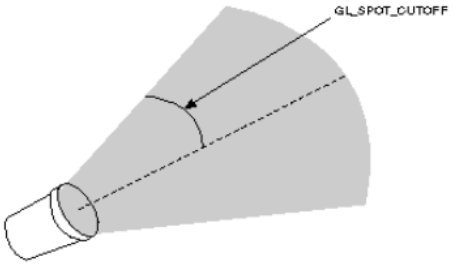
Eigenschaft `name`	Standard-Werte `param`	Bedeutung
`GL_SPOT_DIRECTION`	$(0.0, 0.0, -1.0)$	$(\mathbf{k} = (k_x, k_y, k_z)^T)$-Richtung des Scheinwerferkegels
`GL_SPOT_CUTOFF`	180.0	halber Öffnungswinkel des Scheinwerferkegels ($Spot_{Cutoff}$)
`GL_SPOT_EXPONENT`	0.0	Abschwächungsfaktor senkrecht zur Strahlrichtung ($Spot_{Exp}$)
`GL_CONSTANT_ATTENUATION`	1.0	konstanter Abschwächungsfaktor f_c
`GL_LINEAR_ATTENUATION`	0.0	linearer Abschwächungsfaktor f_l
`GL_QUADRATIC_ATTENUATION`	0.0	quadratischer Abschwächungsfaktor f_q

(Nischwitz *et al.*, 2011)

Spotlight (d.h. w=1) - Beispiel

```
float light1_ambient[] = {0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f};
float light1_diffuse[] = {0.7f, 0.7f, 0.7f, 1.0f};
float light1_specular[] = {0.7f, 0.7f, 0.7f, 1.0f};
float light1_position[] = {0.0f, 1.0f, 2.0f, 1.0f};
float light1_direction[] = {0.0f, 0.0f, -1.0f};
float light1_cutoff = 12.0f;
float light1_exponent = 2.0f;

public void init(GLAutoDrawable drawable) {
    ...
    // enable lighting (default is off)
    gl.glEnable(GL.GL_LIGHTING);

    // set up and enable light 1
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_AMBIENT, light1_ambient, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_DIFFUSE, light1_diffuse, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_SPECULAR, light1_specular, 0);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_POSITION, light1_position, 0);

    gl.glLightf(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_SPOT_CUTOFF, light1_cutoff);
    gl.glLightf(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_SPOT_EXPONENT, light1_exponent);
    gl.glLightfv(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_SPOT_DIRECTION, light1_direction, 0);

    //gl.glLightf(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_CONSTANT_ATTENUATION, 1.5f);
    //gl.glLightf(GL.GL_LIGHT1, GL.GL_LINEAR_ATTENUATION, 0.1f); //
    gl.glLightf(GL.GL_LIGHT1,   GL.GL_QUADRATIC_ATTENUATION, 0.0f);

    gl.glEnable(GL.GL_LIGHT1);
}
```





Lighting model

- **glLightModel{if}**(int *pname*, TYPE *param*)
- **glLightModel{if}v**(int *pname*, TYPE[] *params*, int *params_offset*)

Eigenschaft `name`	Standard-Werte von `param`	Bedeutung
`GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT`	$(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)$	RGBA-Intensitäten für den globalen ambienten Lichtanteil ($\mathbf{a}_{global}$)
`GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER`	0.0 oder `GL_FALSE`	unendlich entfernter oder lokaler Augenpunkt, relevant für die Berechnung des spekularen Lichtanteils
`GL_LIGHT_MODEL_TWO_SIDE`	0.0 oder `GL_FALSE`	Beleuchtungsrechnung nur bezogen auf die Vorderseiten (einseitig), oder getrennt für Vorder- und Rückseite (zweiseitig)
`GL_LIGHT_MODEL_COLOR_CONTROL`	`GL_SINGLE_COLOR`	Alle Beleuchtungskomponenten in einer Farbe oder separate Berechnung des spekularen Farbanteils

(Nischwitz *et al.*, 2011)

Materialeigenschaften (1) - beim **glDisable**(GL_COLOR_MATERIAL)

- **glMaterial{if}**(int *pname*, int *face*, TYPE *param*)
- **glMaterial{if}v**(int *pname*, int *face*, TYPE[] *params*, int *params_offset*) *face* - GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK

Eigenschaft name	Standard-Werte von param	Bedeutung
GL_AMBIENT	$(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)$	RGBA-Werte für die ambiente Reflexion. Standardwert dunkelgrau
GL_DIFFUSE	$(0.8, 0.8, 0.8, 1.0)$	RGBA-Werte für die diffuse Reflexion. Standardwert hellgrau
GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE		Die ambienten und diffusen Reflexionskoeffizienten werden auf die gleichen RGBA-Werte gesetzt
GL_SPECULAR	$(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)$	RGBA-Werte für die spekulare Reflexion. Standardwert schwarz
GL_SHININESS	0.0	Spiegelungsexponent S
GL_EMISSION	$(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)$	Emissive Farbe des Materials. Standardwert schwarz

(Nischwitz *et al.*, 2011)

Materialeigenschaften (2)

- **glEnable**(GL_COLOR_MATERIAL)
  glColorMaterial(int *face*, int *mode*)
  face - GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK
  mode - GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE, GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE, GL_SPECULAR, GL_EMISSION
- Die aktuelle Farbe wird mit **glColor** festgelegt