LMU LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Dipl.Inf. Otmar Hilliges

Programmierpraktikum 3D Computer Grafik

Grundlagen der Computergrafik:
Affine Transformationen, Beleuchtung in OpenGL.

Organisatorisches & Zeitplan

- Bearbeitungszeitraum für aktuelles Übungsblatt sind 14 Tage! (Abgabe 29.Mai)
- Erster Teil mit Wissen aus dieser Stunde machbar.
- Für zweiten Teil ist nächste Woche nützlich.
- Ab Juni beginnt die Projektphase!
  - Teambildung sollte nächste Woche erledigt sein.
  - Überlegungen für Projektideen dürfen angestellt werden ;-)
- Präsentation der Projekte am 6. Juni
- Mittwoch den 13. Juni findet kein Praktikum statt.
- Am 20. Juni muss erste Version des Projektes bereits laufen.

Nachtrag

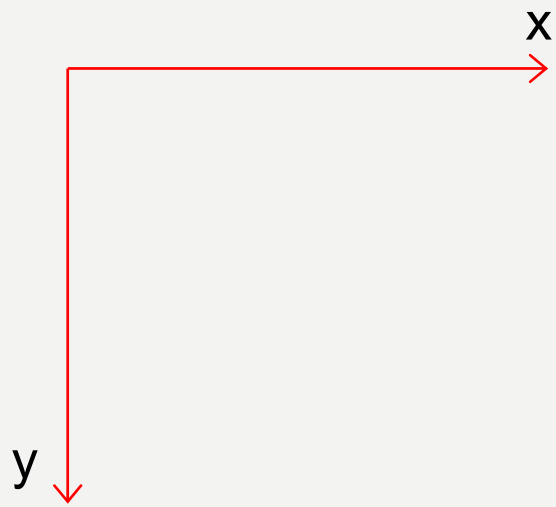
- Wiederholte Vererbung von virtuellen Methoden:
  - Soll eine Methode überschrieben werden muss diese *immer* mit dem Schlüsselwort *virtual* versehen werden.
  - Auch bei wiederholter Ableitung (Mehrstufige Hierarchie).
  - Vorsicht Verschattung von Methoden.
    - Bereits überschriebene Funktion `SubClass1::func()` ohne *virtual* keyword wird nochmal überschrieben `SubClass2::func()`
    - Zuweisung des `SubClass2` Objekts an Pointer von übergeordneten Typs (z.B. Basisklasse) `BaseClass* p = new SubClass2;`
    - Eintrag in der vTable für `func` zeigt auf `SubClass1::func()`
    - Vorsicht sehr schwer zu findender Fehler!

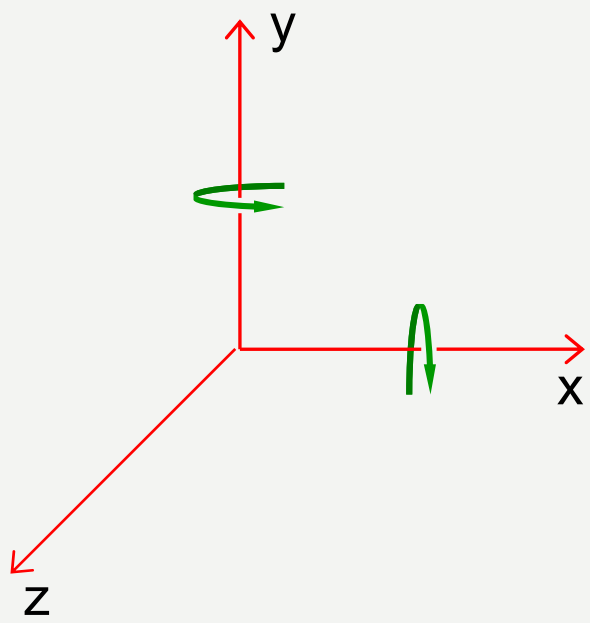
Agenda

- Geometrische Transformationen in 3D
  - Koordinatensysteme
  - Translation, Rotation und Skalierung
  - Homogene Koordinaten und Transformationsmatrix
  - Projection- und Modelview-Matrix und Matrixoperationen in OpenGL
- Farben und Materialeigenschaften
- Beleuchtung
- Blending

Geometrische Transformationen in 3D

- Koordinatensysteme
  - Im allgemeinen frei wählbar
  - Meistens *rechtsdrehend* und *rechtwinklig*
- Beispiele aus der Computergraphik:





- Koordinatensysteme werden aufgespannt durch Ursprung und Basis

$$K = B,(b_1, b_2)$$

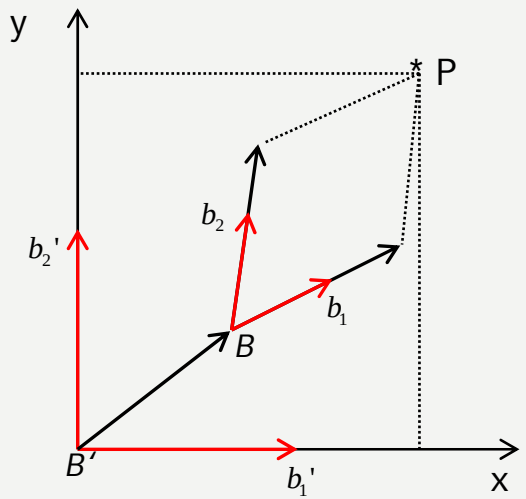
$$K' = B',(b_1', b_2')$$

Beispiel:

$$B = (0,0)^{T,K} = \left(\tfrac{3}{2}, \tfrac{3}{4}\right)^{T,K'} \ldots B' = (0,0)^{T,K'},$$

$$b_1 = (1,0)^{T,K} = \left(\tfrac{1}{2}, \tfrac{1}{8}\right)^{T,K'} \ldots b_1' = (1,0)^{T,K'},$$

$$b_2 = (0,1)^{T,K'} = \left(\tfrac{1}{4}, 1\right)^{T,K'} \ldots b_2' = (0,1)^{T,K'}.$$



Gegeben:

$$P = (2,1)^{T,K}$$

Gesucht: Darstellung von *P* in *K'* Koordinaten?

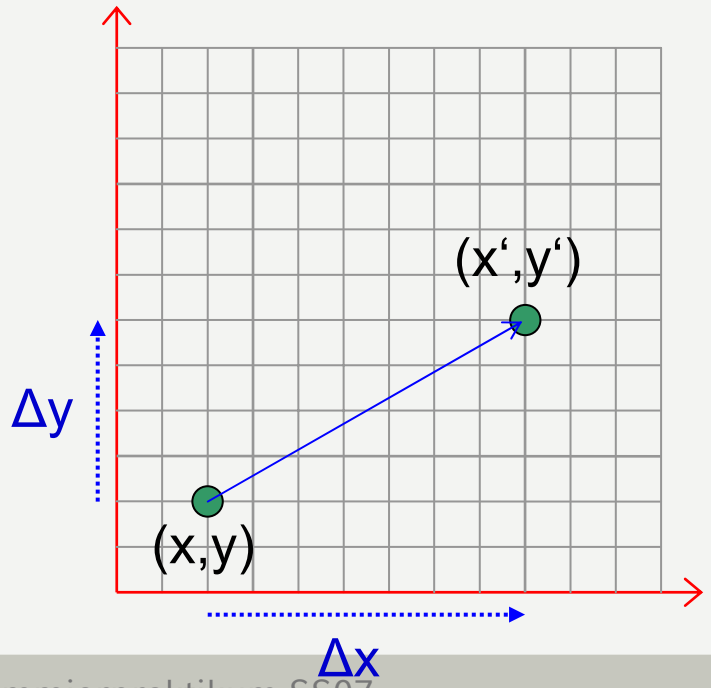
Wechsel des Koordinatensystems durch affine Transformation:

$$v' = A * v + d,$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{8} & 1 \end{pmatrix}, d = \left(\tfrac{3}{2}, \tfrac{3}{4}\right).$$

Translation:

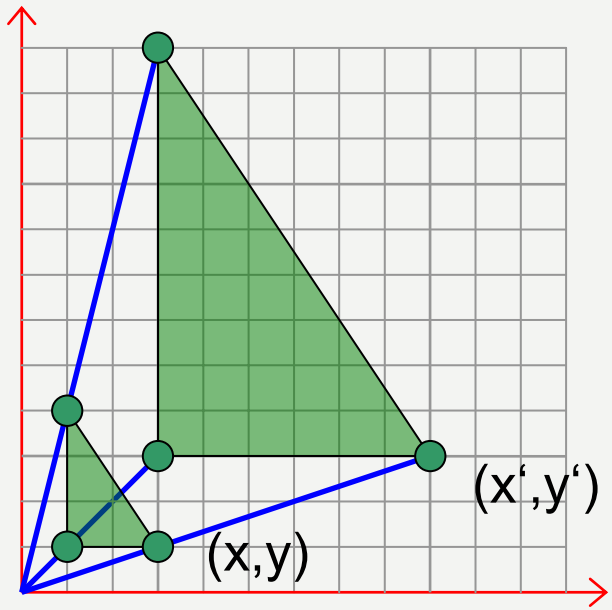
- Verschiebung eines Punktes auf einen anderen
- Beschreibung der Translation:



$$A = Id,$$
$$v' = v + d$$

Skalierung (uniform):

- Streckung in alle Richtungen mit dem Ursprung als Zentrum um α
- Beschreibung der Skalierung:



$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & 0 \\ 0 & a_{1,1} \end{pmatrix},$$

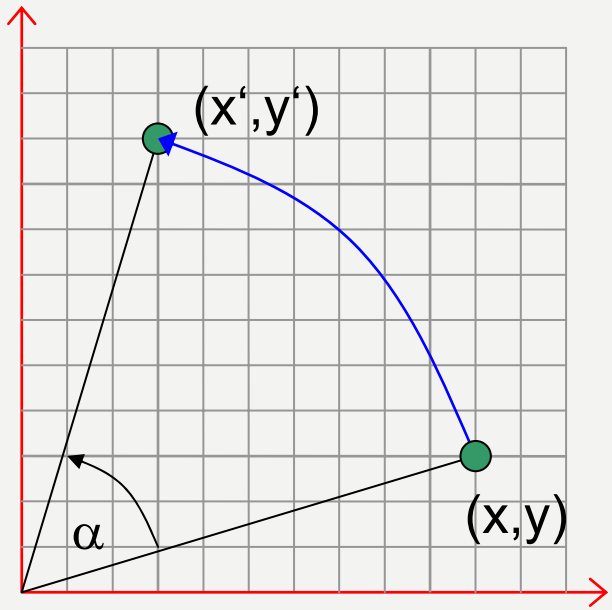
$$d = 0.$$

Spezialfälle:

- Streckung: $a_{1,1}=a_{2,2} > 0$ => Zoom
- Spiegelung $a_{1,1}=a_{2,2} = -1$

Rotation:

- Drehung eines Punktes um den Ursprung mit dem Winkel α ($\alpha > 0$ ➔ CCW)
- Beschreibung der Rotation (2D):



$$A = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix},$$

$$d = 0$$

Translation, Rotation und Skalierung

Bisher:

- Translation: Addition eines Vektors
- Skalierung: Multiplikation des Faktors
- Rotation: Matrixmultiplikation

Problem:

- Keine einheitliche Behandlung
- Zusammengesetzte Transformationen nur schwer zu realisieren (Matrixmultiplikation ist nicht kommutativ)
- Umkehrung von verketteten Transformationen nur schwer möglich.

- Darstellung mit Vektoren und Matrizen ist unpraktisch (versch. Operationen)
- Jeder Punkt P ist eindeutig Darstellbar durch:

$$P = (ß_1 * b_1 + ß_2 * b_2 + 1 * B),$$

bzw.

$$P' = (ß_1' * b_1' + ß_2' * b_2' + 1 * B')$$

- Das Tripel $(ß_1, ß_2, 1)$ ist eine Darstellung von P in homogenen Koordinaten.
- Die Affine Transformation lässt sich dann so Darstellen:

$$\begin{pmatrix} v' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} v \\ 1 \end{pmatrix}$$

Homogene Koordinaten

- Einheitliche Repräsentation von allen Transformationen
- Überführung eines Koordinatensystems in ein homogenes Koordinatensystem durch Hinzufügen einer weiteren Dimension (Projektion des R^3 in R^4)
- Repräsentation eines 3D-Punktes in homogenen Koordinaten:

$$p = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \cong \begin{pmatrix} \lambda \cdot x \\ \lambda \cdot y \\ \lambda \cdot z \\ \lambda \end{pmatrix}, \lambda \neq 0$$

- Rotation (in 3D):
- Drei verschiedene Matrizen für die Drehung eines Punktes um eine Achse

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Drehung um die x-Achse

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Drehung um die y-Achse

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Drehung um die z-Achse

Die allgemeine Transformationsmatrix:

$$T = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 \end{pmatrix}$$

- Skalierung
- Rotation
- Translation

OpenGL verwendet zwei Matrizen:

- Modelview-Matrix:
  - Transformiert die Objektkoordinaten
  - Erzeugt Kamerakoordinaten
  - Beschreibt die Beziehung zwischen Objekt und Kamera (als Transformationsmatrix)
- Projection-Matrix:
  - Transformiert die Kamerakoordinaten
  - Erzeugt Schnittkoordinaten
- Schnittkoordinaten werden mit einem Faktor letztlich auf den Bildschirm übertragen

Matrixoperationen in OpenGL:

- Die Wahl der Matrix:

```
void glMatrixMode(GLenum mode);
// mode = GL_MODELVIEW, GL_PROJECTION
oder GL_TEXTURE
```

- Laden der Einheitsmatrix:
  - Setzt den Ursprung an die Position des Betrachters (also der Kamera)

```
void glLoadIdentity();
```

Matrixoperationen in OpenGL:

- Laden einer Matrix:
  - Matrizen sind 1D repräsentiert, d.h. bei einer 4x4-Matrix handelt es sich um ein Feld der Länge 16
  - Matrizen werden “row-major” behandelt, d.h. die ersten vier Elemente bilden die erste Spalte, usw.

```
void glLoadMatrixf(GLfloat* mp);
```

- Multiplikation der aktuellen Matrix:

```
void glMultMatrixf(GLfloat* mp);
```

Matrixoperationen in OpenGL:

- Der Matrix-Stack:
  - OpenGL besitzt für jede Matrix einen Stack
  - Matrizen können “gesichert” werden, um sie nach weiteren Transformationen wieder laden zu können
  - Ohne Stack müssten alle Transformationen rückgängig gemacht werden (→ hoher Aufwand)
  - Der Modelview-Stack kann mindestens 32, die beiden anderen können mindestens 2 Matrizen aufnehmen

Matrixoperationen in OpenGL:

- Der Matrix-Stack:
  - Speichern einer Matrix auf dem Stack:
    ```
    void glPushMatrix();
    ```
  - Laden einer Matrix vom Stack:
    ```
    void glPopMatrix();
    ```
  - Push- und Pop-Operationen müssen sich **nicht** abwechseln, da die Stacks eine gewisse Tiefe zur Verfügung stellen

Matrixoperationen in OpenGL:

- Der Matrix-Stack:
  - Die Aufrufe zu `glTranslatef(…)`, `glRotatef(…)` und `glScalef(…)` führen lediglich eine Multiplikation der aktuellen Transformationsmatrix durch
  - Die Reihenfolge der Multiplikationen wird durch den Programmierer festgelegt
  - **Achtung:** Es ist entscheidend, ob erst eine Translation gefolgt von einer Rotation durchgeführt wird, oder umgekehrt!

Beispiel:

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
glTranslatef(0.0f, 0.0f, -10.0f); // pos(1)
glPushMatrix(); // speichern von pos(1)
glTranslatef(2.0f, 0.0f, 0.0f);
glRotatef(90.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
// zeichne etwas
glPopMatrix(); // zurück zu pos(1)
glTranslatef(-2.0f, 0.0f, 0.0f);
glRotatef(-90.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
// zeichne etwas
```

Weitere Funktionen für Matrizen:

- Laden der aktuellen Matrix:

```
void glGetFloatv(GLenum pname,
                 GLfloat* params);
```

pname = GL_MODELVIEW_MATRIX,
GL_PROJECTION_MATRIX,
GL_TEXTURE_MATRIX

params = Feld (16 Elemente, “row-major”)

Materialeigenschaften bedeutet (noch nicht) Texturen

Eigenschaften eines Materials:

- Ambiente Farbe
- Diffuse Farbe
- Spiegelungsfarbe
- Stärke des Glanzpunktes
- Aussendende Farbe

Setzen von (single-value) Materialeigenschaften in OpenGL:

```
void glMaterialf(GLenum face,
                                 GLenum pname,
                                 GLfloat param);


// face = GL_FRONT, GL_BACK oder
                GL_FRONT_AND_BACK
// pname = GL_SHININESS
// param = Wert für GL_SHININESS
```

Setzen von (multi-value) Materialeigenschaften in OpenGL:

```
void glMaterialfv(GLenum face,
                  GLenum pname,
                  GLfloat* param);

// face = wie vorher
// pname = GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE,
           GL_SPECULAR, GL_EMISSION,
           GL_COLOR_INDEXES
// param = Wert für pname (4D)
```

Übersicht der Werte (+ Default-Werte):

Parameter	Default	Bedeutung
GL_AMBIENT	(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)	Ambiente Farbe (allgemeine Farbe)
GL_DIFFUSE	(0.8, 0.8, 0.8, 1.0)	Diffuse Farbe (Farbe durch Licht)
GL_SPECULAR	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	Spiegelungsfarbe (abhängig von Pos.)
GL_SHININESS	0.0	Glanzpunktstärke (je höher, desto heller)
GL_EMISSION	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	Farbe des ausgesandten Lichts
GL_COLOR_INDEXES	(0, 1, 1)	Ambient-, Diffus-, Spiegelungsindex

Beispiele für Materialien

Material	r_{ar}, r_{ag}, r_{ab}	r_{dr}, r_{dg}, r_{db}	r_{sr}, r_{sg}, r_{sb}	**n**
Plastik	0.0, 0.0, 0.0	0.01, 0.01, 0.01	0.50, 0.50, 0.50	32
Messing	0.33, 0.22, 0.03	0.78, 0.57, 0.11	0.99, 0.94, 0.81	28
Bronze	0.21, 0.13, 0.05	0.71, 0.43, 0.18	0.39, 0.27, 0.17	26
Kupfer	0.19, 0.07, 0.02	0.70, 0.27, 0.08	0.26, 0.14, 0.09	13
Gold	0.25, 0.20, 0.07	0.75, 0.61, 0.23	0.63, 0.56, 0.37	51
Silber	0.19, 0.19, 0.19	0.51, 0.51, 0.51	0.51, 0.51, 0.51	51

Verschiedene Lichtquellen:

- *Punktlichtquelle*: nur Position (strahlt in alle Richtungen gleichmäßig)
- *Gerichtetes Licht*: nur Vektor (unendlich weit entfernte Lichtquelle (z.B. Sonne)
- *Spotlight*: Position, Richtungsvektor, Öffnungswinkel und Intensitätsabfall (Punktlichtquelle mit bestimmtem Öffnunskegel)

Eigenschaften von Lichtquellen:

- Position
- Richtungsvektor (für Spotlights)
- Öffnungswinkel (für Spotlights)
- Ambiente Farbe
- Diffuse Farbe
- Spiegelungsfarbe
- Intensitätsabfall
- Radialer Intensitätsabfall (für Spotlights)

Setzen von (single-value) Lichteigenschaften in OpenGL:

```
void glLightf(GLenum light,
              GLenum pname,
              GLfloat param);

// light = GL_LIGHTi
// pname = GL_SPOT_EXPONENT, GL_SPOT_CUTOFF,
           GL_CONSTANT_ATTENUATION,
           GL_LINEAR_ATTENUATION,
           GL_QUADRATIC_ATTENUATION
// param = Wert für pname
```

Setzen von (multi-value) Lichteigenschaften in OpenGL:

```
void glLightfv(GLenum light,
               GLenum pname,
               GLfloat* param);

// light = GL_LIGHTi
// pname = GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE, GL_SPECULAR,
           GL_POSITION, GL_SPOT_DIRECTION
// Achtung: vierter Wert = 1 für Position und 0 für Richtung (GL_POSITION vs.
   GL_SPOT_DIRECTION)
// param = Wert für pname (4D)
```

Übersicht der Werte (+ Default-Werte):

Parameter	Default	Bedeutung
GL_AMBIENT	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	Ambiente Farbe des Lichts
GL_DIFFUSE	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)	Diffuse Farbe des Lichts
GL_SPECULAR	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)	Spiegelungsfarbe
GL_POSITION	(0.0, 0.0, 1.0, 1.0)	Position
GL_SPOT_DIRECTION	(0.0, 0.0, -1.0, 0.0)	Richtung (Spotlight)
GL_SPOT_EXPONENT	0.0	Radiale Intensität (Spotlight)

Übersicht der Werte (+ Default-Werte):

Parameter	Default	Bedeutung
GL_SPOT_CUTOFF	180.0	Halber Öffnungswinkel (Spotlight)
GL_CONSTANT_ ATTENUATION	1.0	Konstanter Abschwächungsfaktor
GL_LINEAR_ ATTENUATION	0.0	Linearer Abschwächungsfaktor
GL_QUADRATIC_ ATTENUATION	0.0	Quadratischer Abschwächungsfaktor

Ein- und Ausschalten der Lichtquellen:

- Globales (De-)Aktivieren:

```
void glEnable(GL_LIGHTING);
```

```
void glDisable(GL_LIGHTING);
```

- Danach: Einzelne Lichter (de-)aktivieren:

```
void glEnable(GL_LIGHTi);
```

```
void glDisable(GL_LIGHTi);
```

- Einzelne Lichter können während dem Aufbau der Szene an- und ausgeschaltet werden (Beleuchtung einzelner Objekte verhindern)

Blending

Möglichkeit, Objekte (semi-)transparent darstellen zu können

Zunächst muss eine Blend-Funktion ausgewählt werden:

```
void glBlendFunc(GLenum src, GLenum dst);
src, dst = GL_ZERO, GL_ONE, GL_DST_COLOR,
           GL_ONE_MINUS_DST_COLOR,
           GL_SRC_ALPHA,
           GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR,
           GL_DST_ALPHA,
           GL_ONE_MINUS_DST_ALPHA,
           GL_SRC_ALPHA_SATURATE
```

Aktivieren des Blendings:

- Deaktivieren des Tiefentests (und evtl. Beleuchtung):
  ```
  glDisable(GL_DEPTH_TEST);
  ```
- Aktivieren des Blendings:
  ```
  glEnable(GL_BLEND);
  ```
- Setzen einer Vertexfarbe mit 4 Komponenten:
  ```
  glColor4f(0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.5f);
  ```

Blending

- Wiederherstellen der Szenen-eigenschaften durch Deaktivierung des Blendings und Aktivierung des Tiefentests (und evtl. der Beleuchtung)
- Blending kann für einzelne Objekte während dem Aufbau der Szene (de-) aktiviert werden (analog zur Beleuchtung)