Die spezielle Funktion `ftransform`

- Tut genau das, was die fixed-function pipeline in der Vertex-Transformations-Stufe auch tut: einen Vertex von Model-Koordinaten in View-Koordinaten abbilden
- Idiom:

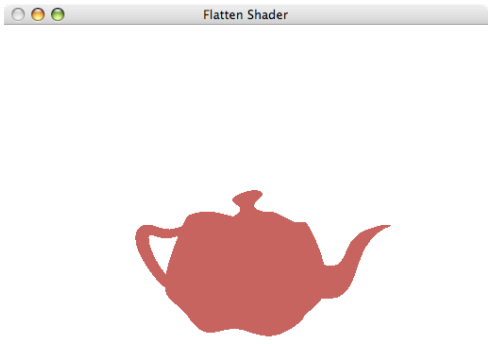
```
gl_Position = ftransform();
```

- Identisch:

```
gl_Position = gl_ModelViewProjectionMatrix * gl_Vertex;
```


Beispiel für die Modifikation der Geometrie

- Wie man mit den Koordinaten (und sonstigen Attributen) eines Vertex im Vertex-Shader verfährt, ist völlig frei:



`lighthouse_tutorial/flatten.*`

Zustandsvariablen

- Zeigen den aktuellen Zustand von OpenGL an
- Sind als "uniform"–Variablen implementiert
- Die aktuellen Matrizen:

```
uniform  mat4 gl_ModelViewMatrix;
uniform  mat4 gl_ProjectionMatrix;
uniform  mat4 gl_ModelViewProjectionMatrix;
uniform  mat3 gl_NormalMatrix;
uniform  mat4 gl_TextureMatrix[n];
uniform  mat4 gl_*MatrixInverse;
```


- Das aktuelle Material:

```
struct gl_MaterialParameters
{
    vec4 emission;
    vec4 ambient;
    vec4 diffuse;
    vec4 specular;
    float shininess;
};
uniform gl_MaterialParameters gl_FrontMaterial;
```

- Aktuelle Lichtquellen(-Parameter):

```
struct gl_LightSourceParameters
{
    vec4 ambient;
    vec4 diffuse;
    vec4 specular;
    vec4 position;
    vec4 halfVector;
    vec3 spotDirection;
    float spotExponent;
    float spotCutoff;
    float spotCosCutoff;
    float constantAttenuation;
    float linearAttenuation;
    float quadraticAttenuation;
};
uniform gl_LightSourceParameters gl_LightSource[gl_MaxLights];
```

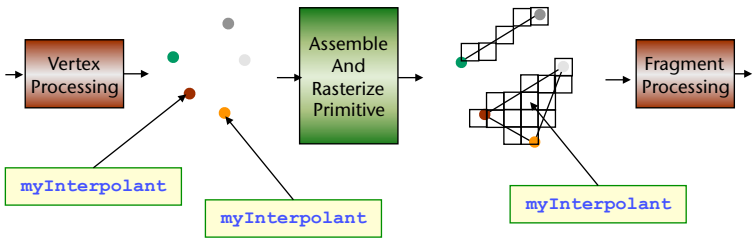
- Und viele weitere (z.B. zu Texturen, Clipping Planes,...)

Parameter-Übergabe von Vertex- zu Fragment-Shader

- Mittels sog. "varying"-Variablen:

```
varying vec3 myInterpolant;
```

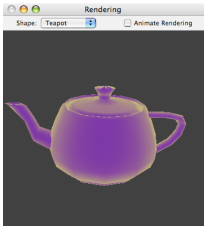
- Achtung: dazwischen sitzt der Rasterizer und interpoliert!



Beispiel für Verwendung von varying- und Zustands-Variablen

- Der "Toon-Shader":
  - Berechnet einen stark diskretisierten diffusen Farbanteil (typ. 3 Stufen)

- Der "Gooch-Shader":
  - Interpoliert zwischen 2 Farben, abhängig vom Winkel zwischen Normale und Lichtvektor



- Sind schon einfache Beispiele für *"non-photorealistic rendering"* (NPR)

Attribute

- Vordefiniert:

```
attribute vec4  gl_Vertex;
attribute vec3  gl_Normal;
attribute vec4  gl_Color;
attribute vec4  gl_MultiTexCoord[n];
attribute vec4  gl_SecondaryColor;
attribute float gl_FogCoord;
```

- Man kann selbst Attribute definieren:
  - Im Vertex-Shader:

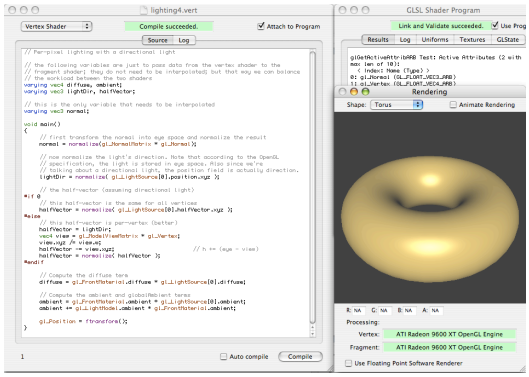
```
attribute vec3 myAttrib;
```

  - Im C-Programm :

```
handle = glGetAttribLocation( prog_handle, "myAttrib");
. . .
glVertexAttrib3f( handle, v1, v2, v3 );
```

Beispiel: Per-Pixel Lighting

1. Diffuse lighting per-vertex
2. Mit ambientem Licht
3. Mit spekularem Lichtanteil
4. Per-Pixel Lighting



`lighting[1-4].*`

Achtung bei Subtraktion homogener Punkte

- Homogener Punkt `v = vec4(v.xyz, v.w)`
  - 3D-Äquivalent = `v.xyz/v.w`
- Subtraktion zweier Punkte/Vektoren **v** und **e** :
  - Homogen: $\mathbf{v} - \mathbf{e}$
  - Als 3D-Äquivalent:

$$\frac{\mathbf{v}.xyz}{\mathbf{v}.w} - \frac{\mathbf{e}.xyz}{\mathbf{e}.w} = \frac{\mathbf{v}.xyz \cdot \mathbf{e}.w - \mathbf{e}.xyz \cdot \mathbf{v}.w}{\mathbf{v}.w \cdot \mathbf{e}.w}$$

- Normalisierung:

$$\left(\frac{\mathbf{v}}{a}\right)^0 = \frac{\frac{\mathbf{v}}{a}}{\left\|\frac{\mathbf{v}}{a}\right\|} = \mathbf{v}^0$$

- Zusammen in GLSL :

```
normalize(v-e) = normalize(v.xyz*e.w - e.xyz*v.w)
```

Zugriff auf Texturen im Shader

- Deklariere Textur im Shader (Vertex oder Fragment):

```
uniform sampler2D myTex;
```

- Lade und binde Textur im C-Programm wie gehabt:

```
glBindTexture( GL_TEXTURE_2D, myTexture );
glTexImage2D(...);
```

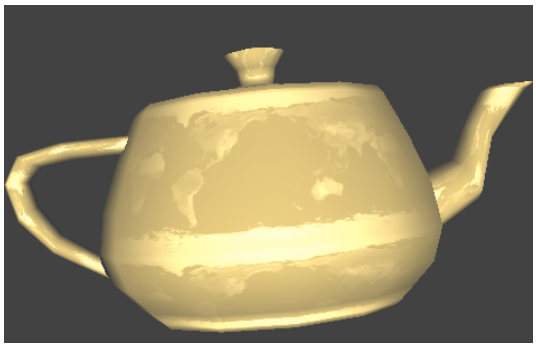
- Verbinde beide:

```
uint mytex = glGetUniformLocation( prog, "myTex" );
glUniform1i( mytex, 0 );  // 0 = texture unit, not ID
```

- Zugriff im Fragment-Shader:

```
vec4 c = texture2D( myTex, gl_TexCoord[0].xy );
```


Beispiel: eine einfache "Gloss-Textur"

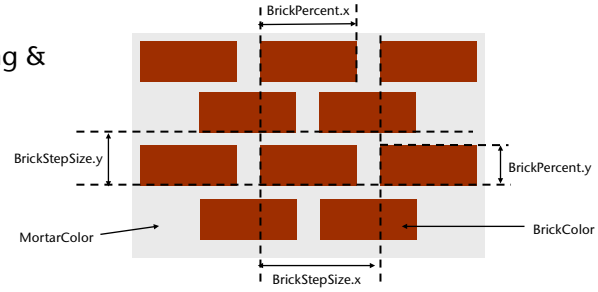


`vorlesung_demos/gloss.{frag,vert}`

Eine einfache prozedurale Textur

- Ziel:
  Ziegelstein-Textur

- Vereinfachung &
  Parameter:



- Generelle Funktionweise:
  - Vertex-Shader: normale Beleuchtungsrechung
  - Fragment-Shader:
    - bestimme pro Fragment anhand der xy-Koordinaten des zugehörigen Punktes im Objektraum, ob der Punkt im Ziegel oder im Mörtel liegt
    - danach, entsprechende Farbe mit Beleuchtung multiplizieren
- Beispiele: