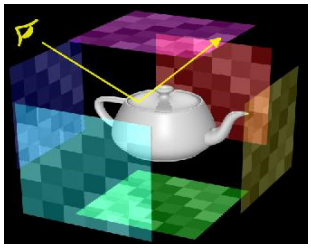
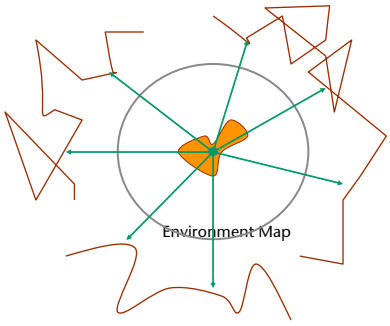
Environment Mapping

- Bei stark spiegelnden Objekten würde man gerne die Umgebung im Objekt gespiegelt sehen
- Raytracing kann das, nicht aber das einfache Phong-Shading-Modell
- Die Idee des Environment-Mapping:
  - "Photographiere" die Umgebung in einer Textur
  - Speichere diese in einer sog. Environment Map
  - Verwende den Reflexionsvektor (vom Sehstrahl) als Index in die Textur
  - Daher a.k.a. reflection mapping



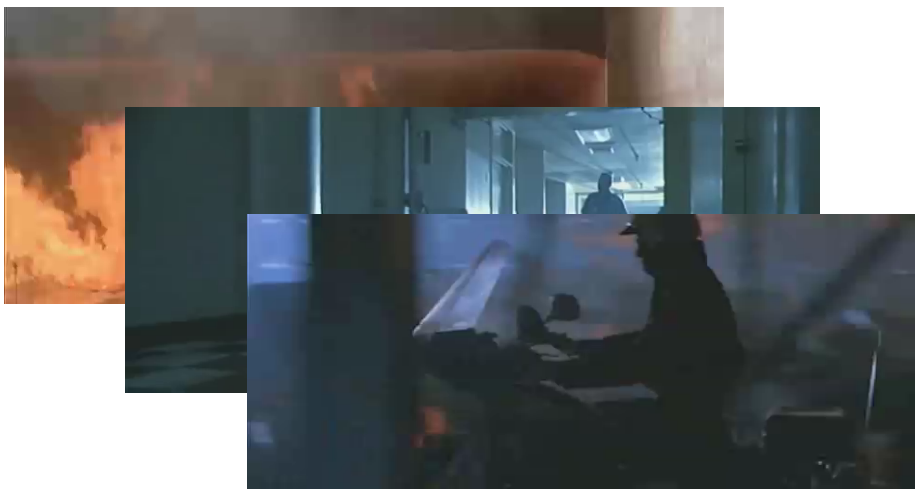
- Die Environment-Map speichert also für jede Raumrichtung die Lichtfarbe, die aus dieser Richtung in einem bestimmten Punkt eintrifft
- Stimmt natürlich nur für eine Position
- Stimmt nicht mehr, falls das Environment sich ändert



Historische Anwendungsbeispiele

Lance Williams, Siggraph 1985

Flight of the Navigator in 1986;
first feature film to use the technique



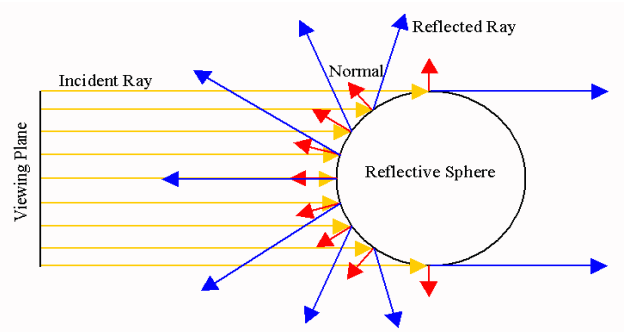
Terminator 2: Judgment Day - 1991
most visible appearance — Industrial Light + Magic

Die Einzelschritte des Environment-Mapping

- Generiere oder lade eine 2D-Textur, die das Environment darstellt
- Für jedes Pixel des reflektierenden Objektes ...
  1. Berechne die Normale **n**
  2. Berechne einen Reflexionsvektor **r** aus **n** und dem View-Vektor **v**
  3. Berechne Texturkoordinaten (*u*,*v*) aus **r**
  4. Färbe mit dem Texturwert das Pixel
- Das Problem: wie parametrisiert man den Raum der Reflexionsvektoren?
  - M.a.W.: wie bildet man Raumrichtungen auf [0,1]x[0,1] ab?
- Gewünschte Eigenschften:
  - Uniformes Sampling (mögl. konstant viele Texel pro Raumwinkel in allen Richtungen)
  - View-unabhängig (mögl. nur eine Textur für alle Kamera-Pos.)
  - Hardware-Support (Textur-Koordinaten sollten einfach zu erzeugen sein)

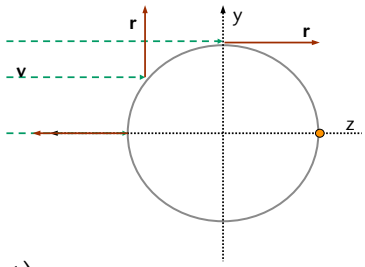
Spherical Environment Mapping

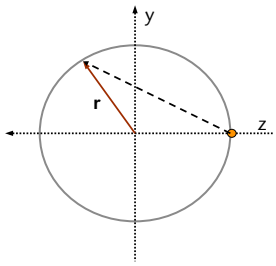
- Erzeugung der Environment-Map (= Textur):
  - Photographie einer spiegelenden Kugel; oder
  - Ray-Tracing der Szene mit spezieller "rotierender Kamera" und anschließendem Mapping



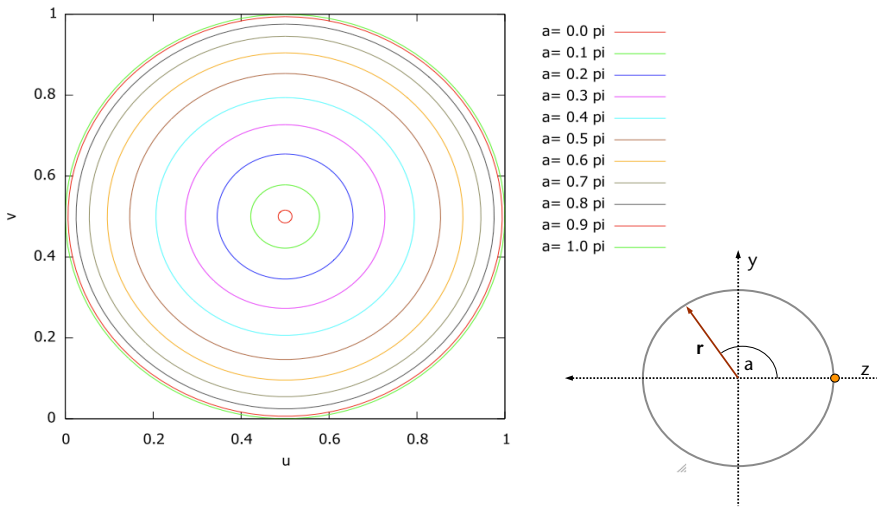
- Abbildung des Richtungsvektors **r** auf (*u*,*v*):
  - Die Sphere-Map enthält (theoretisch) einen Farbwert für jede Richtung, außer **r** = (0, 0, -1)
  - Mapping:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} \frac{r_x}{\sqrt{r_x^2+r_y^2+(r_z+1)^2}} + 1 \\ \frac{r_y}{\sqrt{r_x^2+r_y^2+(r_z+1)^2}} + 1 \end{pmatrix}$$

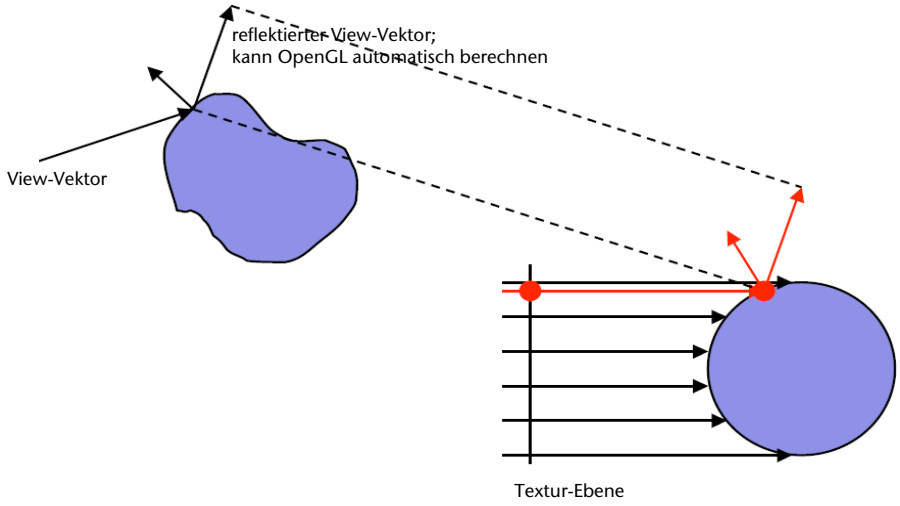




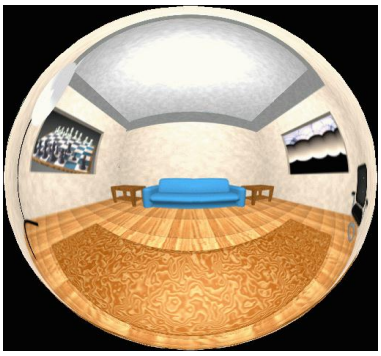
- Das Mapping ist leider sehr nicht-uniform:



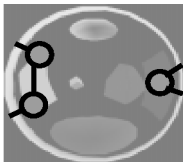
- Anwendung der Sphere Map zur Texturierung:



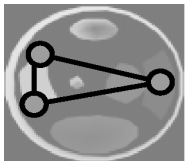
Einfaches Beispiel



- Nachteile:
  - Maps (Texturen) sind schwierig per Computer zu erzeugen
  - Sehr nicht-uniformes Sampling
  - Nur halbwegs korrekt, wenn sich das reflektierende Objekt nahe am Ursprung (in View Space) befindet
  - Sparkles / speckles wenn der reflektierte Vektor in die Nähe des Randes der Textur kommt (durch Aliasing und "wrap-around")
  - View-point dependent: das Zentrum der Sphere-Map repräsentiert den Vektor, der direkt zum Viewer zurück geht!
- Vorteile:
  - einfach, Textur-Koordinaten zu erzeugen
  - unterstützt in OpenGL



beabsichtigte Interpolation

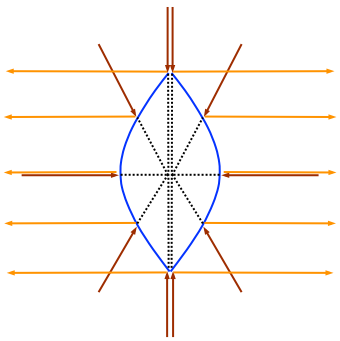


tatsächliche Interpolation (Wrapping)

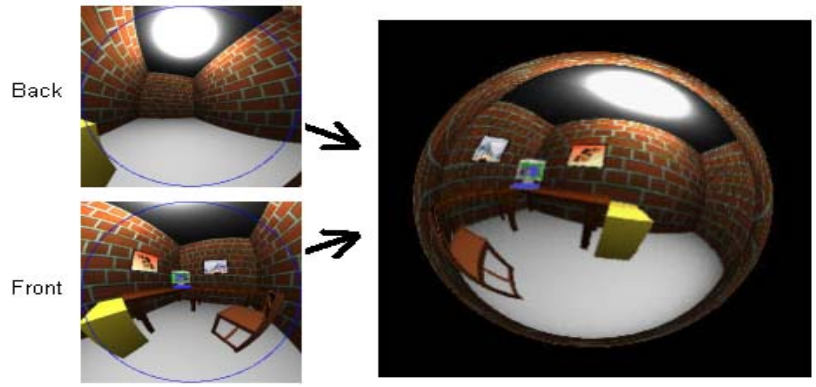
Parabolic Environment Mapping

[Heidrich'98]

- Idee:
  - Bilde das Environment durch ein reflektierendes Doppel-Paraboloid auf zwei Texturen ab
  - Vorteile:
    - rel. uniformes Sampling
    - wenig Verzerrung
    - rel. einfache Textur-Koordinaten
    - geht auch in OpenGL
    - geht auch in einem Rendering-Pass (benötigt nur Multi-Texturing)
  - Nachteile:
    - Artefakte bei Interplation über die "Kante" hinweg

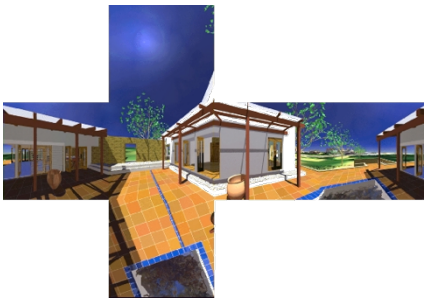


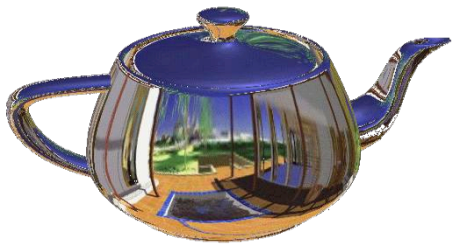
- Die Bilder der Umgebung (= Richtungsvektoren) sind immer noch Kreisscheiben (wie bei sphere map)
- Vergleich:



Cubic Environment Mapping

- Wie früher bei den "normalen" Cube Maps
- Einziger Unterschied: verwende den reflektierten Vektor zur Berechnung der Texturkoordinaten
- Dieser reflektierte Vektor kann von OpenGL automatisch pro Vertex berechnet werden (**`GL_REFLECTION_MAP`**)

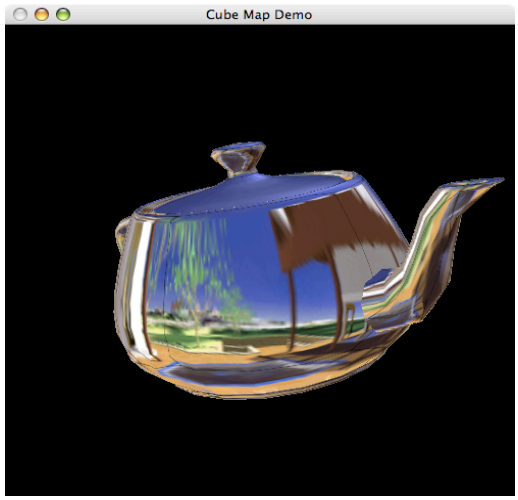




Demo mit statischem Environment

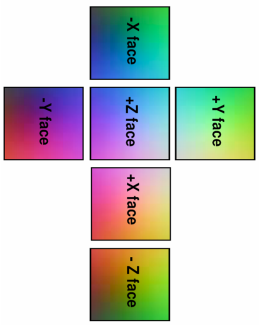
Tasten:

s =	"shape"
space	= reflection / normal map
c =	clamp / repeat
m =	texture matrix * (-1,-1,-1)
a/z =	increase / decrease texture LOD bias on / off



Cube-Maps als LUT für Funktionen der Richtung

- Weitere Anwendung: man kann eine Cube-Map auch sehr gut verwenden, um irgendeine Funktion der Richtung zu speichern! (vorberechnet als LUT)
- Beispiel: Normierung eines Vektors
  - Jedes Cube-Map-Texel (s,t,r) speichert in RGB den Vektor $\frac{(s,t,r)}{\|(s,t,r)\|}$
  - Jetzt kann man beliebige Texturkoordinaten mittels `glTexCoord3f()` angeben, und bekommt den normierten Vektor
- Achtung: bei dieser Technik sollte man (meistens) jegliche Filterung ausschalten!



Dynamische Environment Maps

- Bisher: Environment Map wurde ungültig, sobald in der umgebenden Szene sich etwas geändert hat!
- Idee:
  - Rendere die Szene (typischerweise) 6x vom "Mittelpunkt" aus
  - Übertrage Framebuffer in Textur (unter Verwendung des passenden Mappings)
  - Render Szene nochmal vom Viewpoint aus, diesmal mit Environment-Mapping

→Multi-pass-Rendering

Dynamisches Environment Mapping in OpenGL mittels Cube Maps

```
GLuint cm_size = 512;   // texture resolution of each face
GLfloat cm_dir[6][3];   // direction vectors
float dir[6][3] = {
    1.0, 0.0, 0.0,      // right
   -1.0, 0.0, 0.0,      // left
    0.0, 0.0, -1.0,     // bottom
    0.0, 0.0, 1.0,      // top
    0.0, 1.0, 0.0,      // back
    0.0, -1.0, 0.0      // front
};
GLfloat cm_up[6][3] =   // up vectors
{   0.0, -1.0,  0.0,    // +x
    0.0, -1.0,  0.0,    // -x
    0.0, -1.0,  0.0,    // +y
    0.0, -1.0,  0.0,    // -y
    0.0,  0.0,  1.0,    // +z
    0.0,  0.0, -1.0     // -z
};
GLfloat cm_center[3];   // viewpoint / center of gravity
GLenum cm_face[6] = {
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_X,
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_X,
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_Z,
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_Z,
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_Y,
    GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_Y
};
// define cube map's center cm_center[] = center of object
// (in which scene has to be reflected)
...
```

```
// set up cube map's view directions in correct order
for ( uint i = 0, i < 6; i + )
  for ( uint j = 0, j < 3; j + )
        cm_dir[i][j] = cm_center[j] + dir[i][j];

// render the 6 perspective views (first 6 render passes)
for ( unsigned int i = 0; i < 6; i ++ )
{
  glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT );
  glViewport( 0, 0, cm_size,  cm_size );
  glMatrixMode( GL_PROJECTION );
  glLoadIdentity();
  gluPerspective( 90.0, 1.0, 0.1, ... );
  glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
  glLoadIdentity();
  gluLookAt( cm_center[0], cm_center[1], cm_center[2],
             cm_dir[i][0], cm_dir[i][1], cm_dir[i][2],
             cm_up[i][0],  cm_up[i][1],  cm_up[i][2] );
  // render scene to be reflected
  ...
  // read-back into corresponding texture map
  glCopyTexImage2D( cm_face[i], 0, GL_RGB, 0, 0, cm_size, cm_size, 0 );
}
```



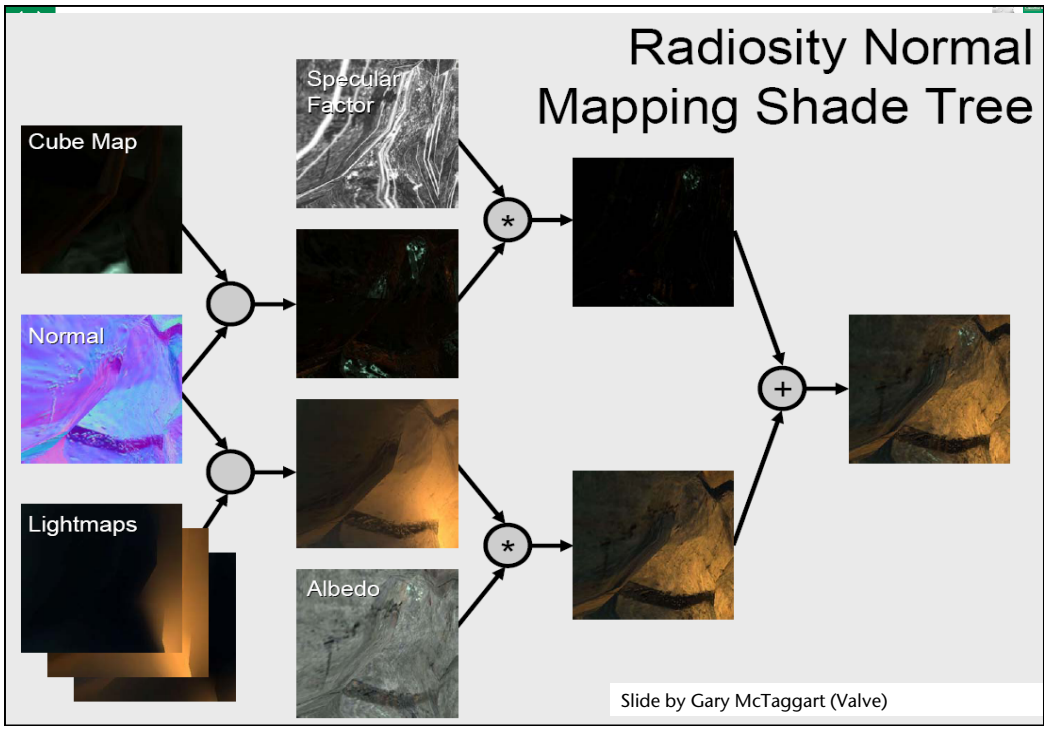
```
// cube map texture parameters init
glTexEnvf(  GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE );
glTexParameteri( GL_TEXTURE_CUBE_MAP, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP );
glTexParameteri( GL_TEXTURE_CUBE_MAP, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP );
glTexParameterf( GL_TEXTURE_CUBE_MAP, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR );
glTexParameterf( GL_TEXTURE_CUBE_MAP, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_NEAREST);
glTexGeni( GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP );
glTexGeni( GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP );
glTexGeni( GL_R, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_REFLECTION_MAP );

// enable texture mapping and automatic texture coordinate generation
glEnable( GL_TEXTURE_GEN_S );
glEnable( GL_TEXTURE_GEN_T );
glEnable( GL_TEXTURE_GEN_R );
glEnable( GL_TEXTURE_CUBE_MAP );

// render object in 7th pass ( in which scene has to be reflected )
...

// disable texture mapping and automatic texture coordinategeneration
glDisable( GL_TEXTURE_CUBE_MAP );
glDisable( GL_TEXTURE_GEN_S );
glDisable( GL_TEXTURE_GEN_T );
glDisable( GL_TEXTURE_GEN_R );
```

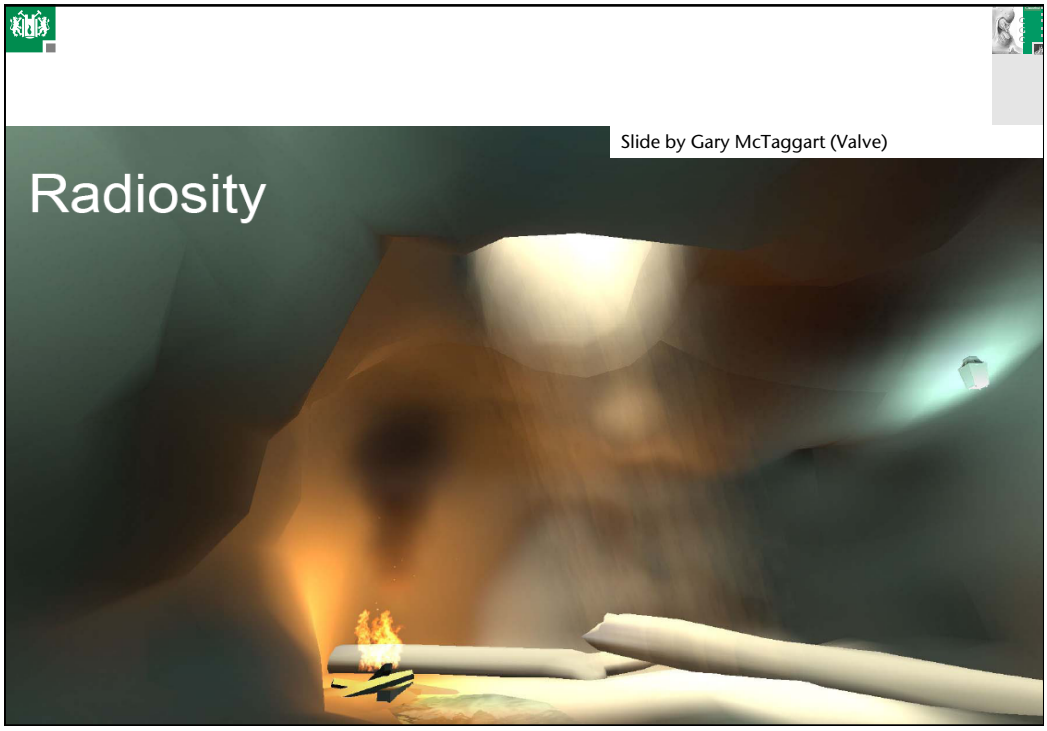
Berechnet den Reflection Vector in Eye-Koord.

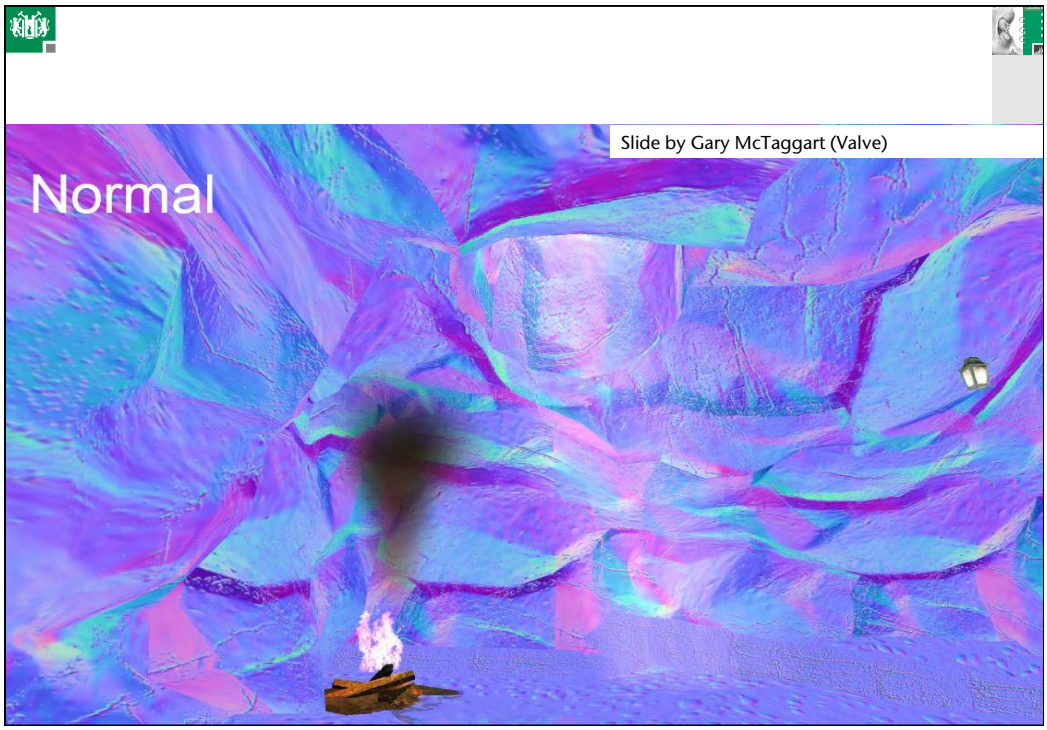
Zum Nachlesen

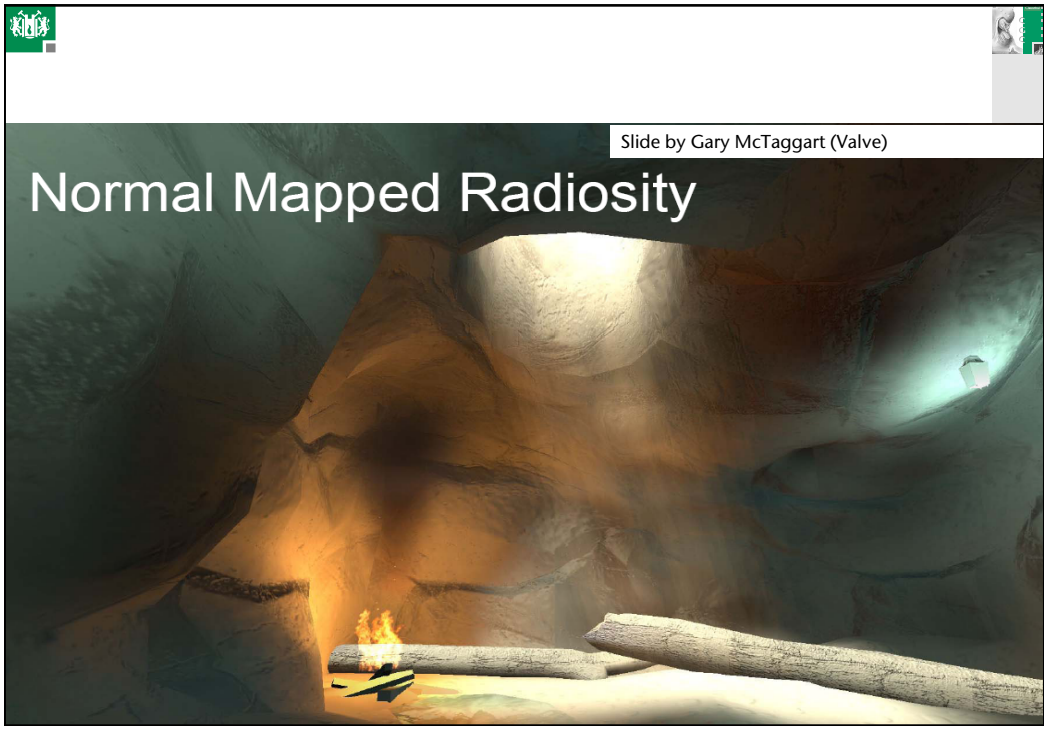
- Auf der Homepage der Vorlesung:
  - "OpenGL Cube Map Texturing" (Nvidia, 1999)
    - Mit Beispiel-Code
    - Hier werden noch etliche Details erklärt (z.B. die Orientierung)
  - "Lighting and Shading Techniques for Interactive Applications" (Tom McReynolds & David Blythe, Siggraph 1999); bzw.
    SIGGRAPH '99 Course: "Advanced Graphics Programming Techniques Using OpenGL" (ist Teil des o.g. Dokumentes)

From Half Life 2 (Valve)


Radiosity Normal Mapping Shade Tree
Specular Factor
Cube Map
Normal
Lightmaps
Albedo
*
*
+
Slide by Gary McTaggart (Valve)

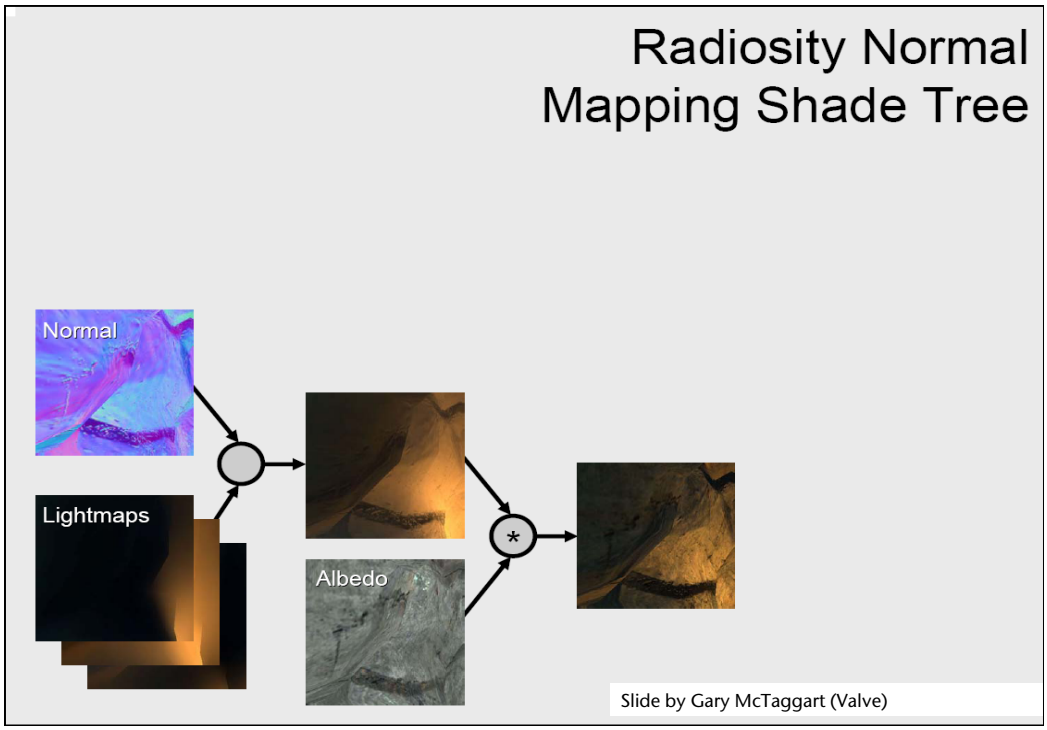

Slide by Gary McTaggart (Valve)
Radiosity

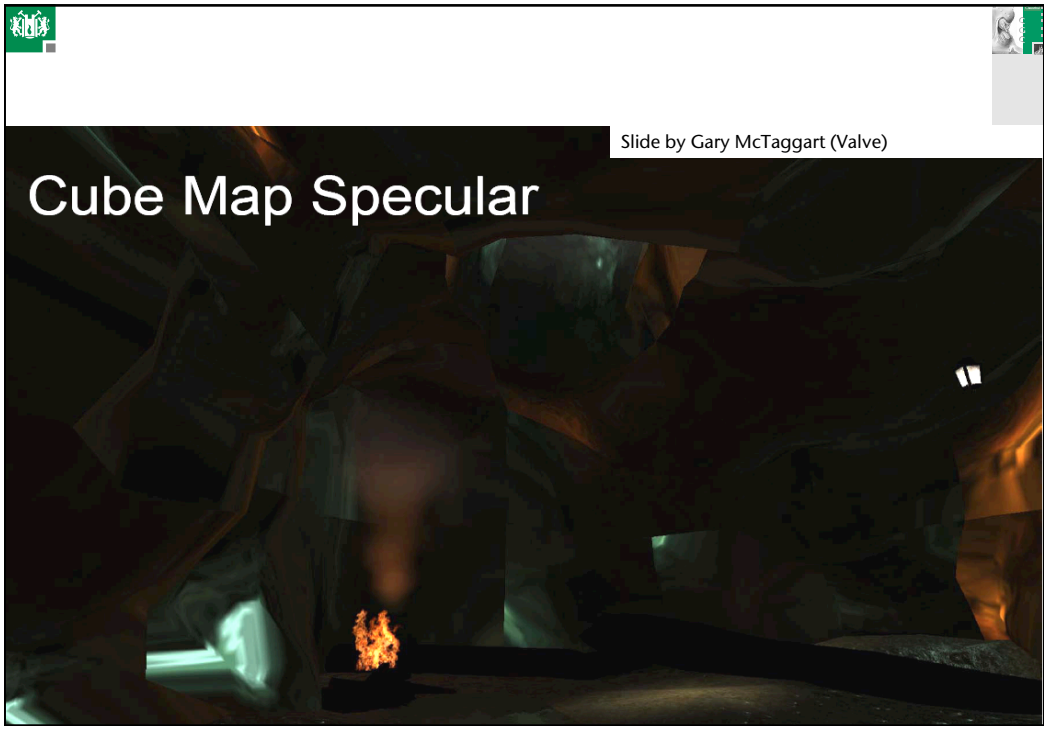

Slide by Gary McTaggart (Valve)
Normal


Slide by Gary McTaggart (Valve)
Normal Mapped Radiosity


Slide by Gary McTaggart (Valve)
Albedo


Slide by Gary McTaggart (Valve)
Albedo * Normal Mapped Radiosity


Radiosity Normal Mapping Shade Tree
Normal
Lightmaps
Albedo
*
Slide by Gary McTaggart (Valve)

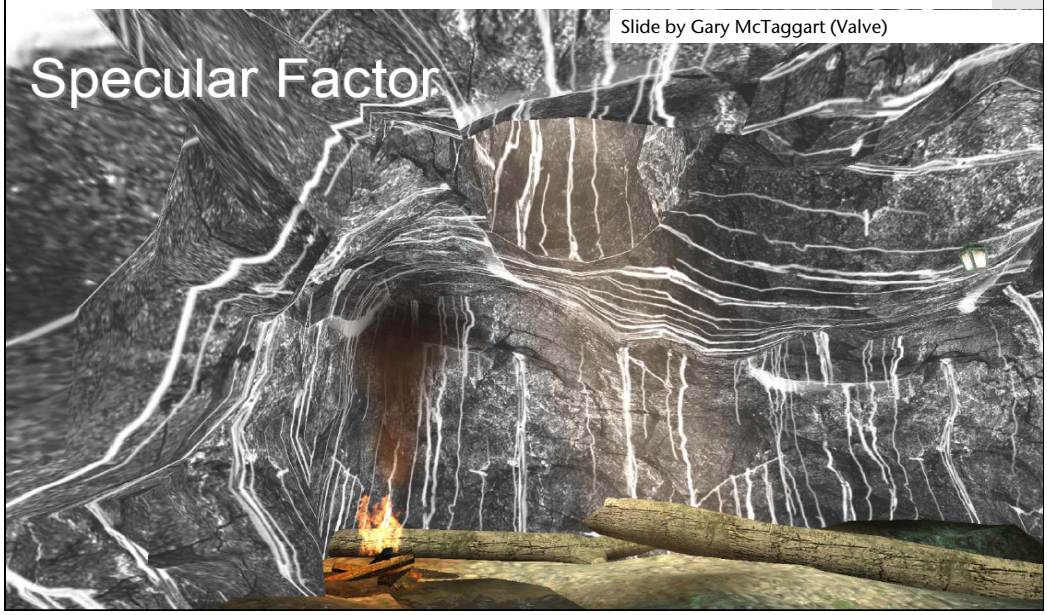

Slide by Gary McTaggart (Valve)
Cube Map Specular

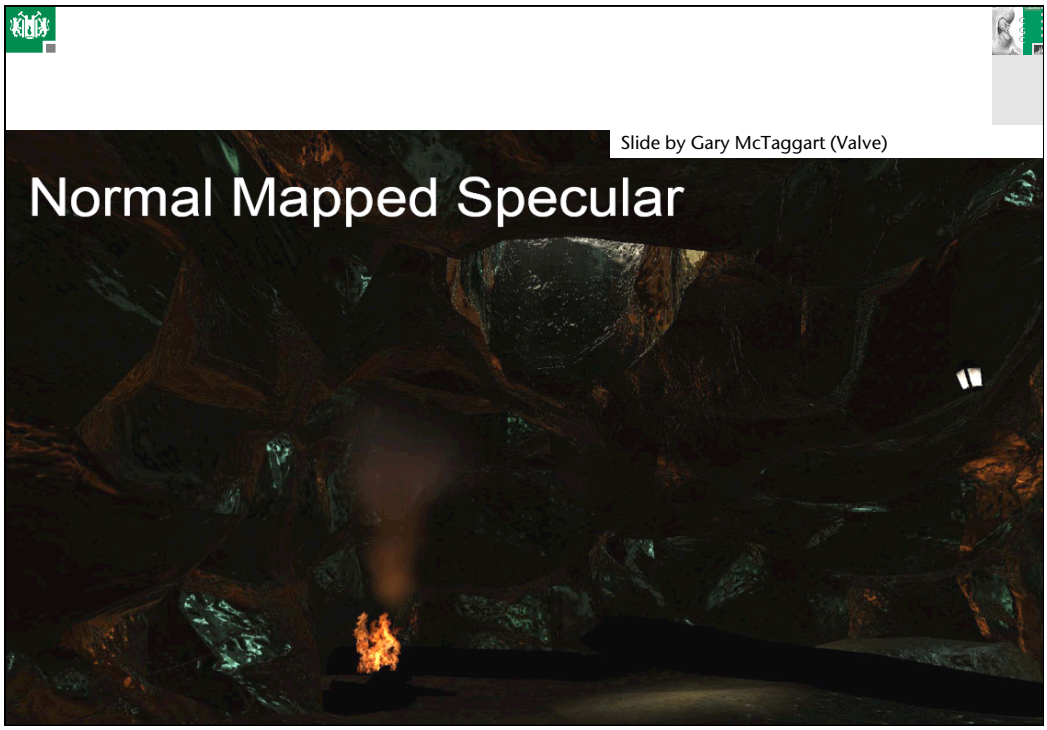
Slide by Gary McTaggart (Valve)

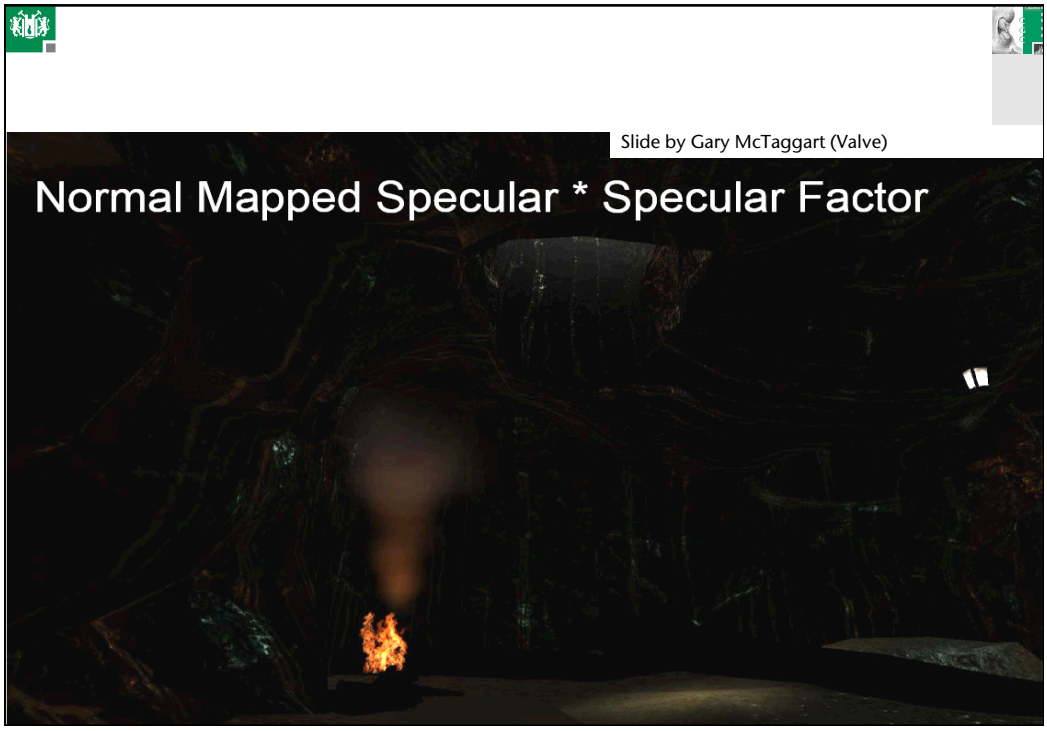
Normal Mapped Specular

Slide by Gary McTaggart (Valve)

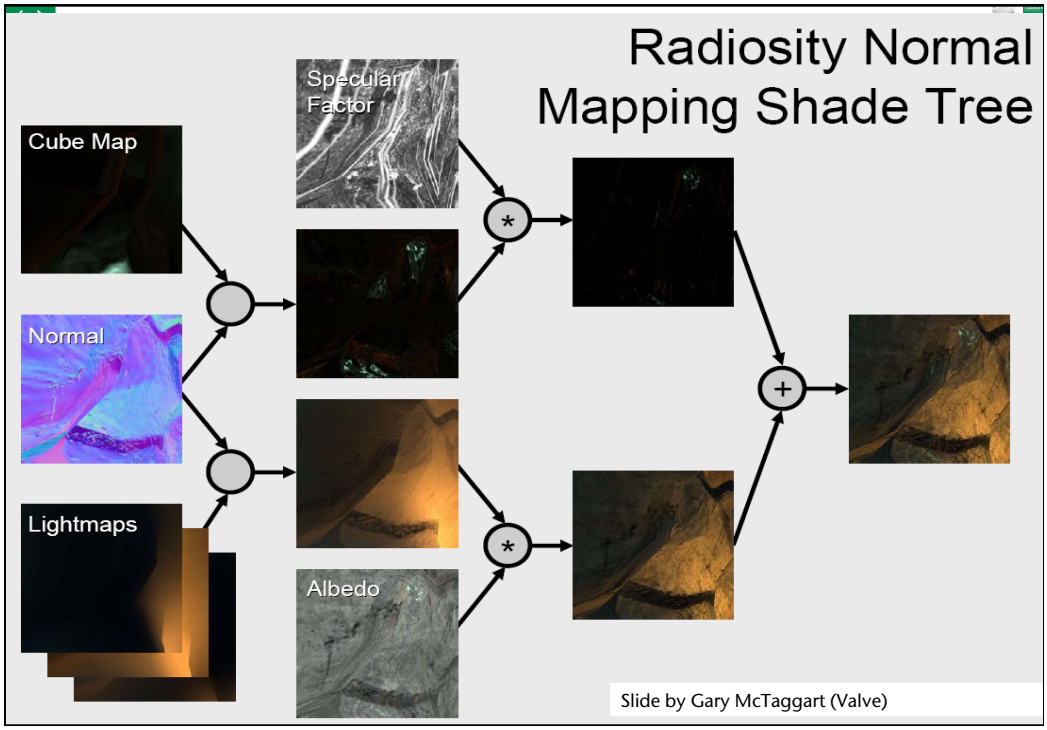
Specular Factor




Slide by Gary McTaggart (Valve)
Normal Mapped Specular

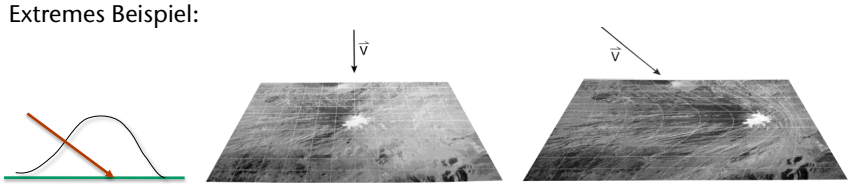

Slide by Gary McTaggart (Valve)
Normal Mapped Specular * Specular Factor


Slide by Gary McTaggart (Valve)
Final Result

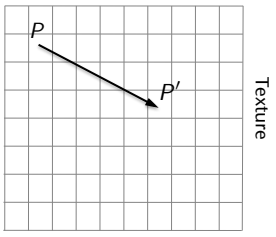

Radiosity Normal Mapping Shade Tree
Cube Map
Specular Factor
Normal
Lightmaps
Albedo
*
*
+
Slide by Gary McTaggart (Valve)

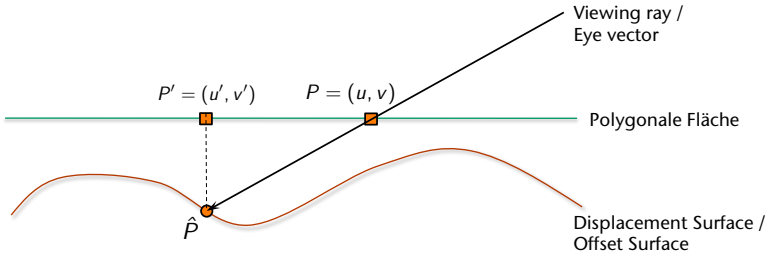
Parallax Mapping

- Problem des Bump- / Normal-Mapping:
  - Nur das Lighting wird beeinflußt – das Bild der Textur bleibt unverändert, egal aus welcher Richtung man schaut
  - Bewegungsparallaxe: nahe / entfernte Objekte verschieben sich verschieden stark relativ zueinander (oder sogar in verschiedene Richtung! je nach Fokussierungspunkt)
  - Extremes Beispiel:

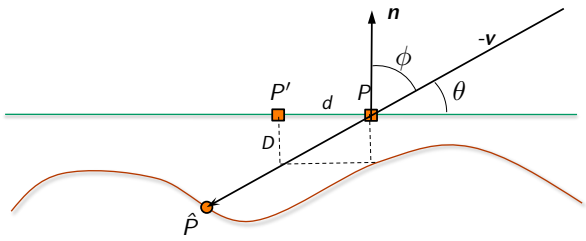


- Idee des Parallax Mapping:
  - Scan-Line-Conversion steht bei P
  - Bestimme $\hat{P}$
  - Projiziere $\hat{P}$ auf P'
  - Schreibe das zugehörige Texel als Farbe
- Problem: wie findet man P' ?





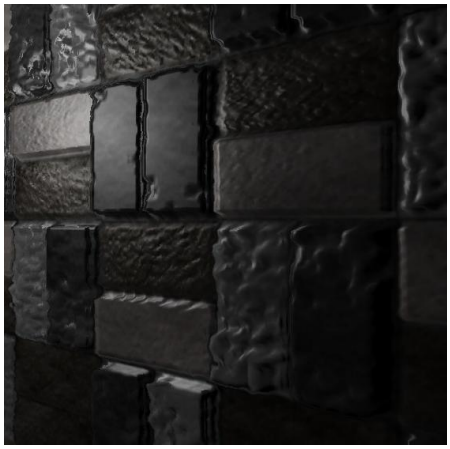
- Einfachste Idee: [Kaneko et al., 2001]
  - Man kennt die Höhe in $P = D(u,v)$
  - Verwende diese als Näherung für $D(u',v')$
  - $\frac{D}{d} = \tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{\cos\phi}{\sin\phi} = \frac{|\mathbf{nv}|}{|\mathbf{n} \times \mathbf{v}|}$.



- Speicherung:
  - Das eigtl Bild in den RGB-Kanälen der Textur
  - Das Höhenfeld im Alpha-Kanal
- Bemerkung: Richtungsableitungen für D_U und D_V (zur Perturbation der Normale) kann man heute "on the fly" ausrechnen

Beispiel

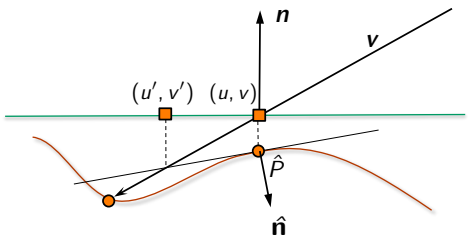
Normales Bump Mapping



Parallax Mapping
(Parallaxe wurde hier zur
Demonstration stark übertrieben)

- Verbesserung: [Premecz, 2006]
  - Approximiere das Höhenfeld in $\hat{P} = (u, v, h)$ durch eine Ebene
  - Berechne Schnittpunkt zwischen Ebene und View-Vektor
  - $h = D(u, v)$,

$$\mathbf{n}\left(\begin{pmatrix} u \\ v \\ 0 \end{pmatrix} + t\mathbf{v} - \begin{pmatrix} u \\ v \\ h \end{pmatrix}\right) = 0$$

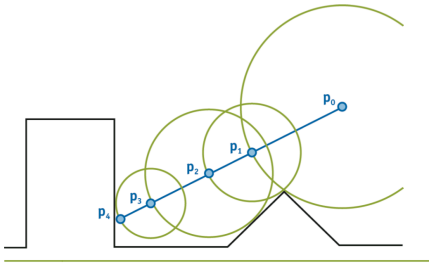


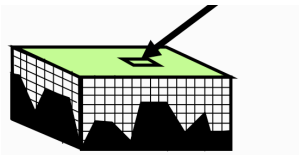
- Weiterführende (naheliegende) Ideen:
  - Iterieren
  - Höhere Approximation des Höhenfeldes

Diplomarbeit ...

Alternative [Donnelly, 2005]

- Mache Sphere-Tracing entlang des View-Vektors, bis man die Offset-Fläche trifft
  - Falls die Height-Map nicht zu große Höhen enthält, genügt es, relativ dicht unterhalb/oberhalb der Referenzfläche zu beginnen
  - Falls der View-Vektor nicht zu "flach" liegt, genügen wenige Schritte
- Speichere für eine Schicht unterhalb der Referenzfläche für jede Zelle den kleinsten Abstand zur Offset-Fläche

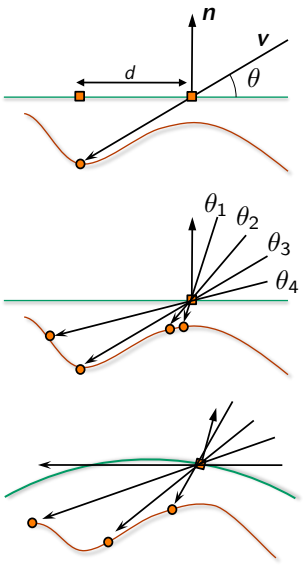




View-Dependent Displacement Mapping (VDM) [2003]

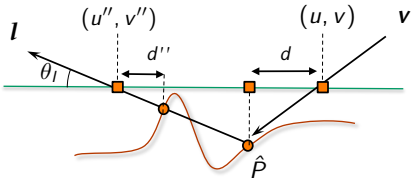
- Idee: berechne alle möglichen Texture-Koordinaten-Displacements für alle möglichen Situationen vor
- Konkret:
  - Parametrisiere den Viewing-Vektor durch (θ, ϕ) im lokalen Koord.system des Polygons
  - Berechne für alle (u,v) und ein bestimmtes (θ, ϕ) das Textur-Displacement vor
    - Ray-Casting eines explizit temporär generierten Meshes
  - Führe dies für alle möglichen (θ, ϕ) durch
  - Führe das Ganze für eine Reihe von möglichen Krümmungen c der (groben) Oberfläche durch
- Ergibt eine 5-dim. "Textur" (LUT):

$$d(u, v, \theta, \phi, c)$$

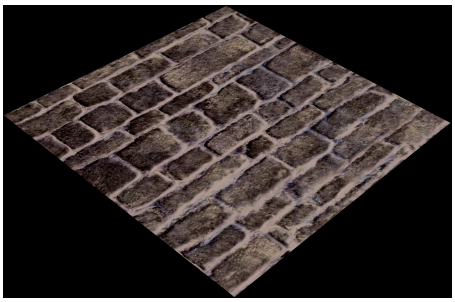


- Vorteil: ergibt korrekte Silhouette
  - Denn: bei manchen Parametern liefert $d(u, v, \theta, \phi, c) = -1$
  - Das sind genau die Pixel, die außerhalb der aktuellen Silhouette liegen!
- Weitere Erweiterung: Self Shadowing (Selbst-Abschattung)
  - Idee wie beim Ray-Tracing: "Schatten-Strahl"

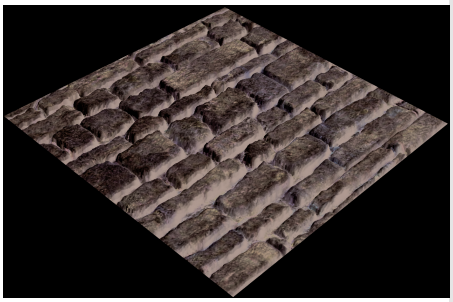
1. Bestimme $\hat{P}$ aus d und θ, ϕ
2. Bestimme Vektor $\boldsymbol{l}$ von $\hat{P}$ zur Lichtquelle; und daraus θ_l und ϕ_l
3. Bestimme $P'' = (u'', v'')$ aus $\hat{P}$ und θ_l und ϕ_l
4. Lookup in der "Textur" d
5. Teste:
   $d(u'', v'', \theta_l, \phi_l, c) < d(u, v, \theta, \phi, c)$
   → Pixel ist im Schatten



- Resultat:



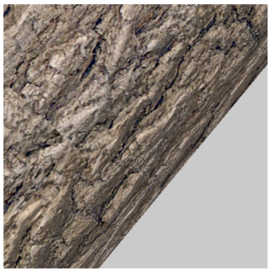
Bump Mapping



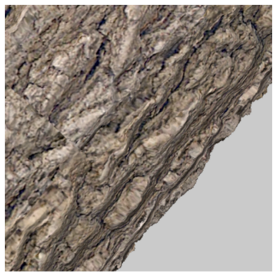
Displacement Mapping

- Namen ("... sind Schall und Rauch!"):
  - Steep parallax mapping, parallax occlusion mapping, horizon mapping, view-dependent displacement mapping, ...
  - Es gibt noch viele weitere Varianten ...

Resultate



Bump mapping



Einfaches Displacement Mapping

View-dependent displacement mapping mit self-shadowing

Alle Beispiele sind mit VDM gerendert