AUF CD

Die Quelltexte sowie die fertig übersetzten Routinen finden Sie im Verzeichnis *Heft Add-ons/Programmierung/PC Underground.*

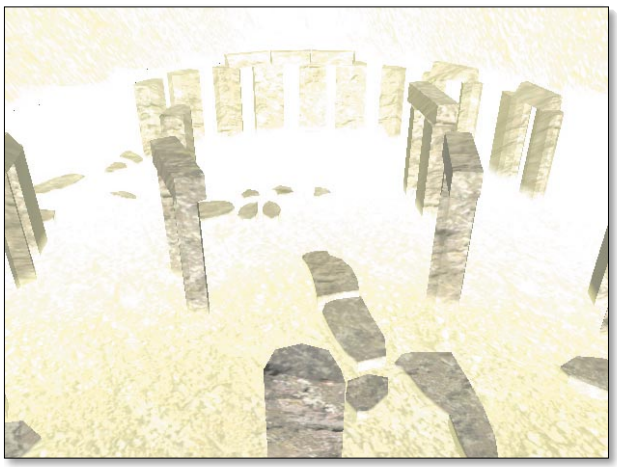
Rendering von Nebeleffekten

Nacht und Nebel

Mit wenig Aufwand können Sie Nebeleffekte darstellen, die über das, was die 3D-Hardware bietet, hinausgehen. Programmieren Sie volumetrische Nebeleffekte, wie sie in Ego-Shootern zu sehen sind.

CARSTEN DACHSBACHER

Die 3D-Grafikkarten erlauben es, 3D-Szenen mit einem Nebeleffekt zu versehen. Der Programmierer kann diese Funktionalität mit Parametern festlegen: die Dichte des Nebels oder dessen exponenziellen bzw. linearen Verlauf.



MORGENDLICHER FRÜHNEBEL taucht diese 3D-Szene in geheimnisvolles Licht.

Stimmungsvolle 3D-Szenen, beispielsweise nur mit Bodennebel, lassen sich damit nicht darstellen. Wir zeigen Ihnen, wie Sie die volumetrischen Nebeleffekte programmieren. Volumetrisch bedeutet, das der Nebel in einem bestimmten Volumen eingeschlossen ist, etwa in einem Quader, einem Zylinder oder einer Kugel.

OpenGL Fogging

Nebel, wie Sie ihn im obigen Bild sehen, kann Ihre Grafikkarte selbstständig darstellen. Dafür gibt es Unterstützung seitens der Hardware und der Grafik-APIs. Die Grafik-Hardware berechnet für jeden Vertex oder jeden Pixel (je nach Modus) die Entfernung der dort sichtbaren Oberfläche zum Betrachter. Abhängig von dieser Entfernung ist der Nebeleffekt stärker oder schwächer.

In OpenGL aktivieren Sie den Nebel (Fogging) mit *glEnable(GL_FOG)*. Anschließend müssen Sie die Parameter für das Fogging angeben. Legen Sie den Tiefen-Bereich fest, in dem sich der Nebel befindet. Dazu geben Sie einen Start- und einen Endwert an und legen die Dichte des Nebels und die Farbe fest:

```
glFogf(
GL_FOG_START, 0.0f
);
glFogf( GL_FOG_END,
100.0f );
glFogf( GL_FOG_DEN-
SITY, 1.0f );

GLfloat fogColor[]
=
 { 1.0f, 1.0f,
1.0f, 1.0f };
glFogfv( GL_FOG_CO-
LOR,fogColor);
```

Für die Berechnung der Nebelintensität *f*, abhängig von der Entfernung *z*, wählen Sie mit dem Eintrag *glFogi(GL_FOG_MODE, mode)* eine der folgenden drei Optionen:

```
GL_LINEAR f = (end-z) /
              ( end-start)
GL_EXP f = e^(-density*z)
GL_EXP2 f = e^((-denstity*z)^2)
```

Diese Optionen bestimmen, wie die Stärke des Effekts von der Entfernung *z* und dem Start- bzw. End-Wert des Nebels abhängt.

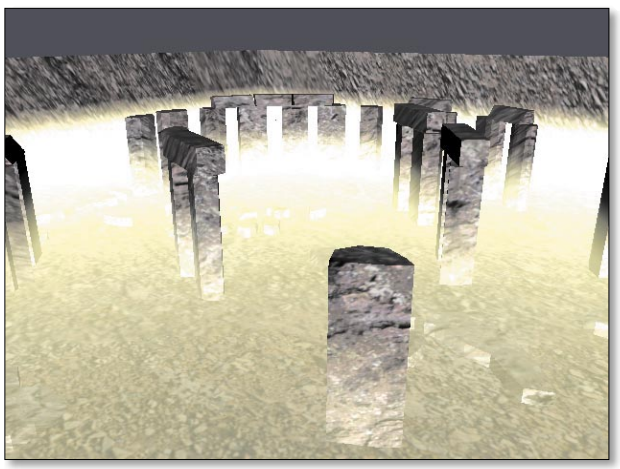
Als nächstes berechnen Sie die Farbe jedes Pixels im Nebel, abhängig vom Wert *f*. Die ursprüngliche Farbe wird in die Nebelfarbe übergeblendet, wobei sich der Bereich *f* von *0* bis *1* beschränkt:

```
//für jede Farbkomponente:
color_new =
 f*color + (1-f)*fogColor
```

Volumetric Fog

Wenn Sie die Nebelschwaden berechnen, kommen Sie mit volumetrische Nebeleffekten zu eindrucksvollen Bildern.

Lesen Sie, wie Sie diese Effekte ohne die OpenGL-Fog-Funktionalität gestalten. Als mögliche Volumina für den Nebel kommen einfache geometrische Primitive wie Quader, Zylinder oder Kugeln oder daraus zusammengesetzte Primitive in Betracht. Das befähigt Sie, den Nebel schnell zu berechnen. Der Trick besteht darin, für jeden Vertex der sichtbaren 3D-Objekte die Nebelintensität zu berechnen. Diese Intensität hängt davon ab, wieviel Nebel sich zwischen Kamera und Objekt befindet. Da Sie die Intensität pro Vertex berechnen, bestimmen ▶



DIESEN BODENNEBEL gestaltet das Beispielprogramm.

DIESE NEBELEFFEKTE strahlen aus einer Kugel.

Sie zunächst die Halbgerade (Strahl), beginnend bei der Kameraposition in Richtung des Vertex.

Anschließend berechnen Sie alle Schnittpunkte des Strahls und der Nebelvolumina. Es gibt nicht für jeden Strahl einen Schnittpunkt. An Hand der Schnittpunkte können Sie die Länge der im Nebel zurückgelegten Strecken und somit die Nebelintensität bestimmen.

Wir zeigen Ihnen Schritt für Schritt, wie Sie das Grundprinzip umsetzen, um quader- und kugelförmige Nebelvolumina darzustellen. Voraussetzung ist, dass Sie ein geladenes 3D-Objekt im Speicher haben, bestehend aus einer Vertex und einer Flächen-Index-Liste:

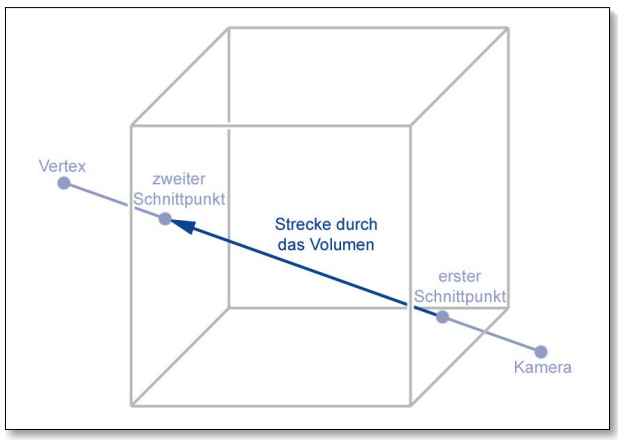
```
typedef struct
{
  float x, y, z;
}VERTEX3D;

typedef struct
{
  int      a, b, c;
  VERTEX3D normal;
}FACE;

VERTEX3D *pVertexList;
FLOAT    *pFogList;
VERTEX3D *pNormalList;
FACE     *pFaceList;

int      nVertices, nFaces;
```

Bestimmen Sie für jeden Vertex – für jeden Frame – die Nebelintensität. Dazu benötigen Sie eine Halbgerade, die sich aus Koordinaten der Vertex- und der Kameraposition bestimmen lässt. Beide Koordinaten müssen Sie in dasselbe Koordinatensystem transformieren. Dazu bieten sich zwei Wege an:

- Sie führen alle Berechnungen im Objektspace durch und transformieren die Kamera in den Objectspace,
- oder Sie transformieren alle Vertices in den Worldspace, in dem sich die Kamera befindet.

Die erste Variante ist weniger zeitaufwändig, da nur die Kameraposition transformiert werden muss. Beginnen Sie mit der Kameratransformation:

```
typedef struct
{
  // Ursprung,
Richtung
  VERTEX3D  from,
d;
}RAY3D;

MATRIX44 modelView,
invModelView;

// Modelview Matrix
holen...
glGetFloatv
      (GL_MODELVIEW_MATRIX,
        modelView );

// ... invertieren
InverseMatrixAnglePreserving
( modelView, invModelView );

// Kameraposition aus den
// Kameraeinstellungen bekannt!
VERTEX3D camPos =
 { 0.0f, 0.0f, 70.0f };

// Start der Halbgerade
// = Kamera im Objectspace !
ray.from =invModelView * camPos;
```



DER STRAHL von der Kamera zu einem Vertex durch ein quaderförmiges Nebelvolumen

Jetzt bestimmen Sie die Richtung der Halbgeraden für jeden Vertex *i*:

```
// Richtung (normalisiert)
ray.d =
 pVertexList[ i ] - ray.from;
~ray.d;
```

Anschließend berechnen Sie, ob Schnittpunkte mit Nebelvolumina existieren und wenn ja, die Nebelintensität. Die Details der verwendeten Subroutinen betrachten Sie folgendermaßen:

```
// Eckpunkte des Nebelquaders
VERTEX3D minBox =
 { -100.0f, 0.0f, -100.0f };
VERTEX3D maxBox =
 { 100.0f, 10.0f, 100.0f };
// Abschnitte an der Halbgerade,
// falls es Schnittpunkte gibt
float tmin, tmax;

if ( boxIntersection
 ( ray, &tmin, &tmax,
      minBox, maxBox,
  pVertexList[ i ] ) )
{
  // Schnittpunkte existieren
  fog =
  distanceInFog(ray, tmin, tmax,
             pVertexList[ i ] );
}
```

Der Rückgabewert von *distanceInFog(...)* ist die Strecke, die der Strahl durch das Nebelvolumen zurücklegt. Mit diesem Wert können Sie analog zur OpenGL-Nebelberechnung einen linearen oder exponenziellen Verlauf modellieren, wie die folgenden Beispiele zeigen:

```
// linearer Nebel
// einfaches Skalieren
fog *= 0.05f;

// exponenzieller Verlauf
fog *= 0.03f;
fog = exp( fog ) - 1;

// exponenziell/quadr.Verlauf
fog *= 0.04f;
fog = exp( fog * fog ) - 1;
```

Sie können Lookup-Tabellen verwenden, um Nebelschwaden darzustellen. Das folgende Beispiel verwendet eine Tabelle mit 256 Einträgen für Nebelintensität, zwischen denen interpoliert wird:

```
fog *= 255.0f;
if ( fog > 254 )
fog = 254;
int fogi =
(int)fog;
float fogf = fog -
fogi;
fog = table[ fogi
]*(1.0f-fogf)+
      table[ fogi+1
]*fogf;
```

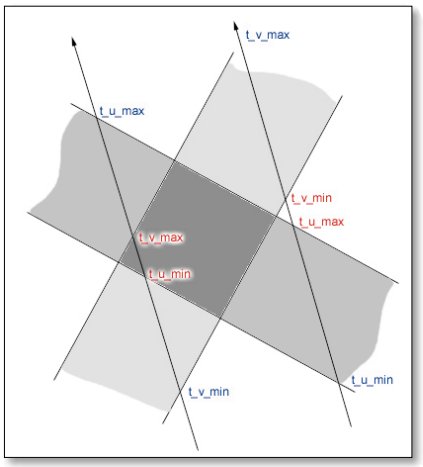
Mit der berechneten Nebenintensität skalieren Sie die gewünschte Farbe des Nebels und speichern diese zusammen mit dem ursprünglichen Wert zunächst für jeden Vertex für das spätere Rendering:

```
GLfloat fogColor[] =
  { 0.7f, 0.7f, 0.5f };

float *pFog = pFogList;

*(pFog++) = fog * fogColor[ 0 ];
*(pFog++) = fog * fogColor[ 1 ];
*(pFog++) = fog * fogColor[ 2 ];
*(pFog++) = fog;
```

Schnittpunkt-Berechnungen

In der Routine *boxIntersection(...)* verbirgt sich die Schnittpunkt-Berechnung zwischen einem Strahl und einem Quader mit achsenparallelen Kanten (aus Performance-Gründen). Solche Quader werden auch als *AABB* (Axis Aligned Bounding Boxes) bezeichnet. Dafür gibt es hochoptimierte Schnittpunktberechnungen, von denen wir Ihnen eine hier vorstellen: die *Slab*-Methode. Slab bezeichnet ein paralleles Ebenenpaar. Drei Slabs bilden einen Quader. Im zweidimensionalen Fall bilden zwei Slab-Paare ein Rechteck.

Für ein Slab-Paar können Sie die beiden Schnittpunkte berechnen, hier für das X-Slab-Paar:



DIE SLAB-METHODE hilft, um Schnittpunkte mit AABBs zu bestimmen.

```
// Strahl darf nicht parallel zu
// den Ebenen verlaufen
if ( fabs( ray.d.x ) > epsilon )
{
tmin_x = ( minB.x - ray.from.x )
                    / ray.d.x;
tmax_x = ( maxB.x - ray.from.x )
                    / ray.d.x;
} else
  return 0; // kein Schnittpunkt
```

Bei geschickter Betrachtung der Schnittpunkte oder der berechneten *tmin*/*tmax*-Parameter stellen Sie fest, ob der Strahl die AABB schneidet. Berechnen Sie für jedes der drei Slab-Paare *tmin* und *tmax*:

```
tmin =
 max( tmin_x, tmin_y, tmin_z )
tmax =
 min( tmax_x, tmax_y, tmax_z )
```

Wenn *tmin* kleiner oder gleich *tmax* ist, schneidet der Strahl den Quader, sonst verfehlt er ihn. Betrachten Sie dazu die zwei eingezeichneten Strahlen im vorigen Bild. Die ausschlaggebenden *tmin*- und *tmax*-Werte sind rot gekennzeichnet. Bevor Sie in der *boxIntersection(...)*-Routine die Slab-Methode anwenden, wird noch ein Trivial-Reject-Test (Rückweisungs-Test) durchgeführt. Dabei überprüfen Sie mit einfachen, rechenzeitunkritischen Befehlen, ob der Strahl den Quader überhaupt schneiden könnte. Das können Sie beispielsweise ausschließen, wenn sowohl der Ursprung als auch das Ziel des Strahls über, unter oder links bzw. rechts vom Quader liegen.

Als zweites Nebelvolumen verwenden Sie die Kugel, für die sich die Schnittpunkte einfach berechnen lassen. Eine Kugel ist definiert durch ihren Mittelpunkt *m* und ihren Radius *r*. Alle Punkte *x* auf der Oberfläche der Kugel, also auch potenzielle Schnittpunkte mit einer Geraden, haben den gleichen Abstand vom Mittelpunkt, nämlich den Radius:

```
|x-m| = r
(x-m)*(x-m) = r*r
```

Wenn Sie die (Halb-)Geradengleichung in die Abstandsberechnung für *x* einsetzen, erhalten Sie eine quadratische Gleichung, deren Lösung oder Lösungen die Parameter der Geradengleichung sind. In C-Code sieht das Resultat wie folgt aus:

```
VERTEX3D delta =
ray.from - center;

a = ray.d * ray.d;
b = ray.d * delta * 2.0f;

c = center * center +
    ray.from * ray.from -
  2.0f * ( center * ray.from ) -
    radius * radius;

d = b * b - 4.0f * a * c;

if ( d <= 0.0 ) return 0;

d = (float)sqrt( d );

a = 1.0f / ( 2.0f * a );

t1 = ( - b + d ) * a;
t2 = ( - b - d ) * a;

// Schnittpunktparameter
tmin = min( t1, t2 );
tmax = max( t1, t2 );
```

Mit den *tmin*/*tmax*-Parametern, also der Information, wo der Strahl in ein Nebelvolumen eintritt oder es verlässt, können Sie die Strecke berechnen, die er im Nebel zurücklegt. Dabei müssen Sie eine Fallunterscheidung machen – je nachdem, ob sich der Betrachter und/oder der betrachtete Vertex selbst im Volumen befindet. Diese Bestimmung übernimmt die *distanceInFog(...)*-Methode, die als Parameter *tmin*/*tmax*, die Halbgerade *ray* und den betrachteten Vertex *v* bekommt.

Zunächst berechnen Sie, wie weit Sie ausgehend von der Kameraposition in Richtung des Strahls gehen müssen, bis Sie den Vertex *v* erreichen:

```
if ( ray.d.x != 0 )
  tv = ( v.x - ray.from.x ) /
  ray.d.x;
  else
  // ray.d.y oder ray.d.z
```

Anschließend folgt die Fallunterscheidung:

```
// Kamera blickt von der Box weg
if ( tmax < 0 )
  return 0;

// Fog Volume befindet sich
// hinter dem Vertex
if ( tmin > tv )
  return 0;

// Vertex im Fog Volume
if ( tv > tmin && tv < tmax )
{
  // Kamera auch im Fog Volume ?
  if ( tmin < 0 )
    /* ja */ return tv; else
    /* nein */ return tv - tmin;
} else
{
  // Fog Volume befindet sich
  // zw. Kamera und Vertex
  return tmax - tmin;
}
```

Volumetrischen Nebel rendern

Um volumetrischen Nebeleffekte ohne spezielle Funktionen oder OpenGL-Extensions zu rendern, verwenden Sie eine *2-Pass*-Methode: Sie zeichnen die Szene zweimal.

Im ersten Renderpass zeichnen Sie die 3D-Szene mit den gewünschten Parametern für Beleuchtung, Texturen und Materialien:

```
// Material Parameter
glEnable( GL_COLOR_MATERIAL );

glColorMaterial( ... );
glMaterialfv( ... );

// einfach flatshaded Zeichnen
glBegin( GL_TRIANGLES );

for ( int i = 0;i < nFaces; i++)
{
  glNormal3fv( (float*)
 &pFaceList[ i ].normal );

  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
    [ pFaceList[ i ].a ] );
  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
    [ pFaceList[ i ].b ] );
  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
    [ pFaceList[ i ].c ] );
}

glEnd();
```

Im zweiten Renderpass benötigen Sie die oben berechneten Nebelintensitäten. In diesem Pass zeichnen Sie ohne Beleuchtung und Texturen. Allerdings aktivieren Sie das Blending und wählen additives Rendering: Die Nebelfarbe hellt das Bild auf.

```
glDisable( GL_TEXTURE_2D );
glDisable( GL_LIGHTING );

glEnable( GL_BLEND );
glBlendFunc( GL_ONE, GL_ONE );

// Interpolation Nebelintensität
glShadeMode( GL_SMOOTH );
```

Nach dieser Initialisierung zeichnen Sie die 3D-Szene und übergeben für jeden Vertex seine Nebelfarbe:

```
glBegin( GL_TRIANGLES );

for ( i = 0; i < nFaces; i++ )
{
  glColor4fv(
(GLfloat*)
   &pFogList
   [ pFaceList[ i
].a * 4 ] );
  glVertex3fv(
(GLfloat*)
   &pVertexList
   [ pFaceList[ i
].a ] );

  glColor4fv(
(GLfloat*)
   &pFogList
   [ pFaceList[ i
].b * 4 ] );
  glVertex3fv(
(GLfloat*)
   &pVertexList
   [ pFaceList[ i
].b ] );

  glColor4fv( (GLfloat*)
   &pFogList
   [ pFaceList[ i ].c * 4 ] );
  glVertex3fv( (GLfloat*)
   &pVertexList
   [ pFaceList[ i ].c ] );
}

glEnd();
```

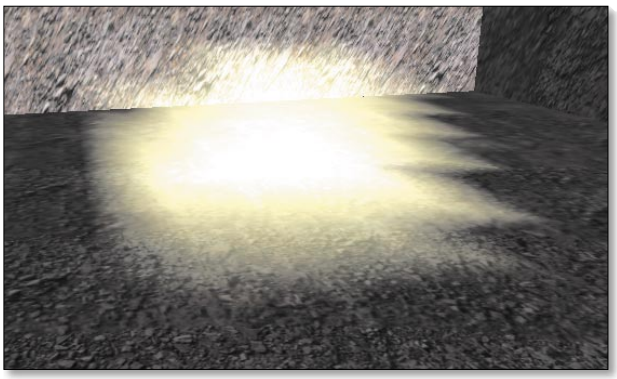
Die Nebenintensitäten, die Sie für die Vertices berechnet haben, werden beim Rendering über die Dreiecke interpoliert. Um eine gute Darstellungsqualität zu erhalten, benötigen Sie Dreiecksnetze, die fein tesseliert sind (= aus vielen kleinen Dreiecken bestehen). Gegebenenfalls müssen Sie mit einem 3D-Modellingprogramm vorhandene 3D-Modelle verfeinern (so genanntes Subdividing). Vor allem, wenn die Grenzen von Nebelvolumina sichtbar sind, benötigen Sie sehr feine 3D-Modelle, oder Sie erhalten störende Effekte.

Schneller im Nebel

Es gibt noch eine andere Art, die Nebenintensitäten zu bestimmen, als lediglich die Strecke zwischen den Schnittpunkten des Strahls und den Nebelvolumina als Wert heranzuziehen: Sie können einem quaderförmigen Nebel eine 3D-Textur zuweisen. Da viele 3D-Karte mit 3D-Texturen nicht arbeiten können, müssen Sie diese Aufgabe selbst in Ihrem Programm lösen. Dazu betrachten Sie den Eintrittspunkt eines Strahls in ein Nebelvolumen und den Austrittspunkt. Dann untersuchen Sie jeden 3D-Texel der Textur, den der Strahl im Nebelvolumen berührt, und summieren deren Intensitäten auf.

So könnten Sie Nebelschwaden und komplexe Strukturen im Nebel darstellen. Allerdings ist diese Methode sehr rechnenzeitintensiv und bedarf einiger Optimierung.

Beschleunigt rendern Sie anders: Mit einer OpenGL Extension *EXT_fog_coord*, die Sie beim OpenGL-Treiber anfragen können, gelingt es, einen der Renderpasses einzusparen. Diese Extension erlaubt es, für jeden Vertex eine selbstberechnete Nebelintensität anzugeben. Ohne diese Erweiterung berechnet OpenGL bei angeschaltetem Fogging diesen Wert selbst. Mit folgenden Befehlen befragen Sie Ihren Grafikkarten-Treiber, ob er diese Extension anbietet:



DAS 3D-MODELL des Bodens ist nicht fein genug tesseliert.

```
const GLubyte *glExtString;
char glExtName[] =
                  „EXT_fog_coord“;

glExtString =
     glGetString(GL_EXTENSIONS);

if ( strstr( glExtString,
             glExtName) == NULL)
{
  // nicht unterstützt !!!
  return false;
}

// sonst Adresse holen:
glFogCoordfEXT = (void*)
  wglGetProcAddress
             („glFogCoordfEXT“);
```

Zu dieser Extension gehören einige weitere Funktionen für das Rendering mit Streaming- und Interleaved-Daten. Diese finden Sie zusammen mit den benötigten Konstantendefinitionen in der *glext.h*-Datei.

Bei dieser *1-Pass*-Rendering Methode aktivieren Sie wieder das OpenGL-Rendering und teilen ihm mit, dass Sie die Nebelintensitäten selbst berechnen:

```
glEnable( GL_FOG );
glFogi( GL_FOG_MODE, GL_LINEAR);
glFogfv( GL_FOG_COLOR,fogColor);
glFogf( GL_FOG_START, 0.0f );
glFogf( GL_FOG_END, 100.0f );
glFogi
  (GL_FOG_COORDINATE_SOURCE_EXT,
        GL_FOG_COORDINATE_EXT);
```

Damit reduziert sich das Rendering auf folgende Schleife (analog zum obigen ersten Renderpass):

```
// Material Parameter
glEnable( GL_COLOR_MATERIAL );

glColorMaterial( ... );
glMaterialfv( ... );

// einfach flatshaded Zeichnen
glBegin( GL_TRIANGLES );

for ( int i = 0; i < nFaces; i++)
{
  glNormal3fv( (float*)
 &pFaceList[ i ].normal );

  glFogCoordfEXT(
    pFogList
     [ pFaceList[ i ].a * 4 ] );
  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
        [ pFaceList[ i ].a ] );

  glFogCoordfEXT(
    pFogList
     [ pFaceList[ i ].b * 4 ] );
  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
        [ pFaceList[ i ].b ] );

  glFogCoordfEXT(
    pFogList
     [ pFaceList[ i ].c * 4 ] );
  glVertex3fv( (float*)
    &pVertexList
        [ pFaceList[ i ].c ] );
}

glEnd();
```

Wie Sie in der obigen Programmschleife sehen, müssten Sie nicht einmal selbst die Farbe des Nebels mit der Intensität skalieren, da OpenGL das automatisch mit der eingestellten Fog-Farbe tut. Somit würde die *pFogList* nur noch ein Viertel der Einträge benötigen. ET

Literatur und Web-Verweise:

Advanced Rendering Techniques Using OpenGL, SIGGRAPH 99 Course Notes

www.dachsbacher.de/pcu
www.pouet.net/prod.php?which=5624
www.opengl.org/developers/code/sig99/index.html