OpenGL

- Grafik-Bibliothek mit einigen hundert Befehlen **`gl...()`** (div. Ausführungen) – angeschlossener „Aufsatz“: OpenGL Utility Library (GLU), ca. 50 Befehle **`glu...()`**
- Plattform-unabhängig (Hardware, Fenster-/ Betriebssyst.), netzwerkfähig (Client: Programm / Server: Darstellung)
  - Konstruktion bel. **Modelle** aus Grafik-Primitiven: Punkten, Linien, Polygonen, Bildern, Bitmaps (=Bitmustern)
  - Zusammenfassung mehrerer Modelle (Objekte) zu **Szenen**; Sicht-Berechnung bei gegebenem Augenpunkt
  - Farbgebung durch Berechnung von **Licht**intensitäten bei gegebener **Farbe** oder **Textur** (=aufgesetztem Bild)
  - Erzeugung eines **Pixel-Bild**es aus der geometrisch-farblichen Beschreibung („Rasterisierung“)
- **Rendering**: (Wiedergabe, Darstellung): Erzeugg. digitaler (Pixel-)Bilder aus log.-mathem. Modell-Beschreibungen.

- OpenGL in ISO C implementiert: unterschiedliche Namen je nach Parameterliste. Typische Schreibweise: **`glFunktionsNameTyp (GL_KONST_NAME, param);`**

  z.B. Setzen der Zeichenfarbe:

```
glColor3f(1.,1.,1.);          //R,G,B:weiss(def.)
```

  Vektor-Version des Befehls (weniger Datentransfer):

```
GLfloat farbe[]={1.,0.,0.};              //RGB:rot
glColor3fv(farbe);                     //Einstellg
glGetFloatv(GL_CURRENT_COLOR, farbe); //Abfrage
```

- ➡ OpenGL als Zustandsautomat (engl. *state machine*) implementiert: letzte (bzw.Vor-)Einstellung (Default) gültig.
  ⇨ Weniger Datentransfer, günstig f. Echtzeit- u. C/S-Apps

```
void glEnable (GLenum cap); //z.B. GL_CULL_FACE
void glDisable(GLenum cap);
GLboolean glIsEnabled(GLenum capability);
```

  gibt zurück **`GL_TRUE`** oder **`GL_FALSE`**.

Suffix	Data Type	Typical Corresponding C-Language Type	OpenGL Type Definition
b	8-bit integer	signed char	GLbyte
s	16-bit integer	short	GLshort
i	32-bit integer	int or long	GLint, GLsizei
f	32-bit floating-point	float	GLfloat, GLclampf
d	64-bit floating-point	double	GLdouble, GLclampd
ub	8-bit unsigned integer	unsigned char	GLubyte, GLboolean
us	16-bit unsigned integer	unsigned short	GLushort
ui	32-bit unsigned integer	unsigned int or unsigned long	GLuint, GLenum, GLbitfield

OpenGL-Rendering-Pipeline

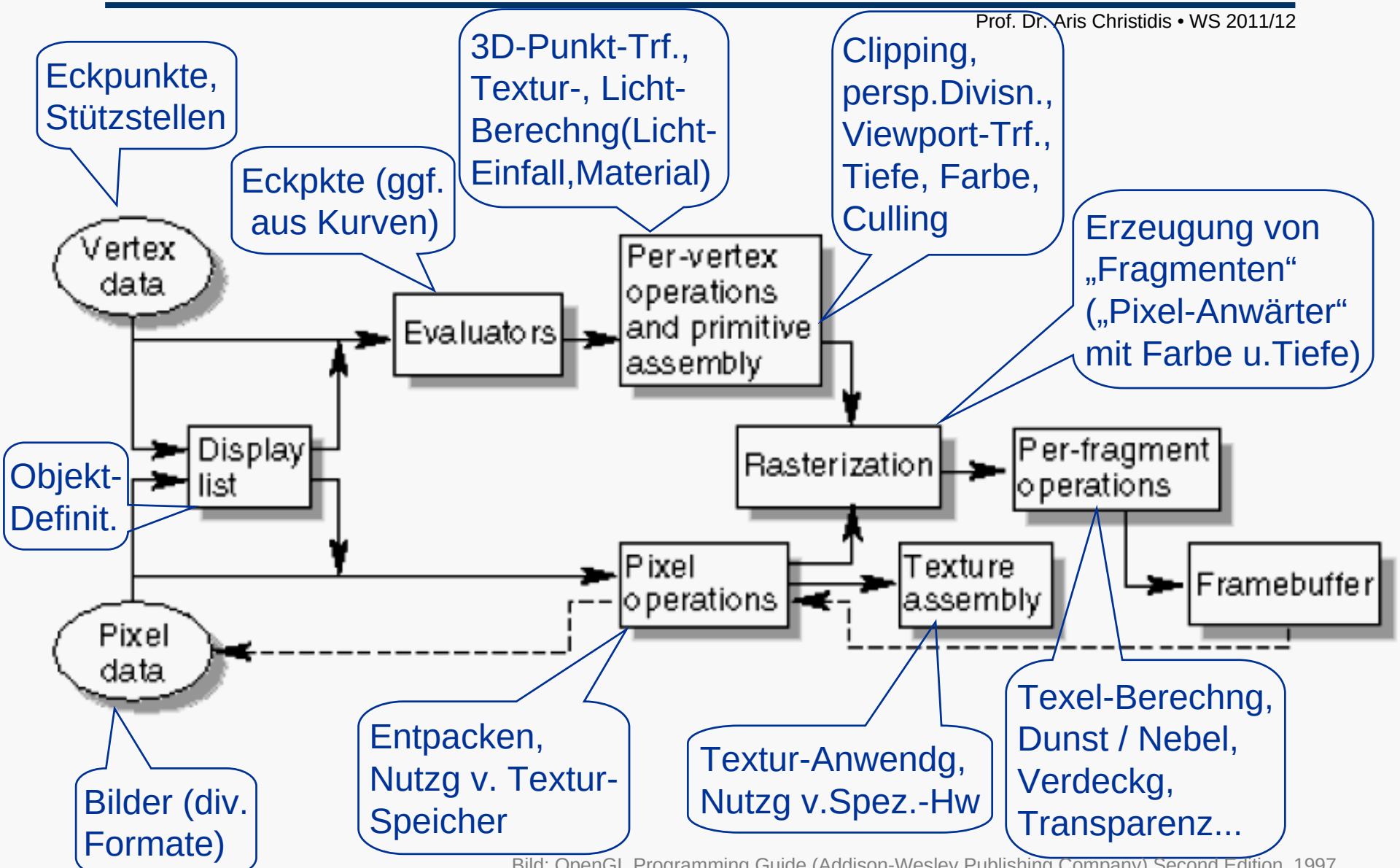


Bild: OpenGL Programming Guide (Addison-Wesley Publishing Company) Second Edition, 1997

Puffer löschen – hier: Bild- und Tiefenspeicher

- Löschfarben-Festlegung aus Rot, Grün, Blau,Transparenz („Alpha“); Werte-Intervall: [0,1]; Voreinst.: schwarz, opak

```
void glClearColor(GLclampf red, GLclampf green,
                  GLclampf blue, GLclampf alpha);
```

- Festlegung eines Löschwertes für Tiefe (Berechnung der Verdeckung); Werte-Intervall: [0,1]; Voreinst.: 1.0 (fern)

```
void glClearDepth(GLclampd depth);
```

- Löschung ist eine teure (langsame) Operation; Bitmasken zur Nutzung von Spezial-Hw (gleichzeitige Löschung):

```
void glClear(GLbitfield mask);
```

Bsp.: Löschung v. Bild- u.Tiefenspeicher, ggf. gleichzeitig:

```
glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
glClearDepth(1.0);
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

- Implementierungshinweis zu Bitmasken :

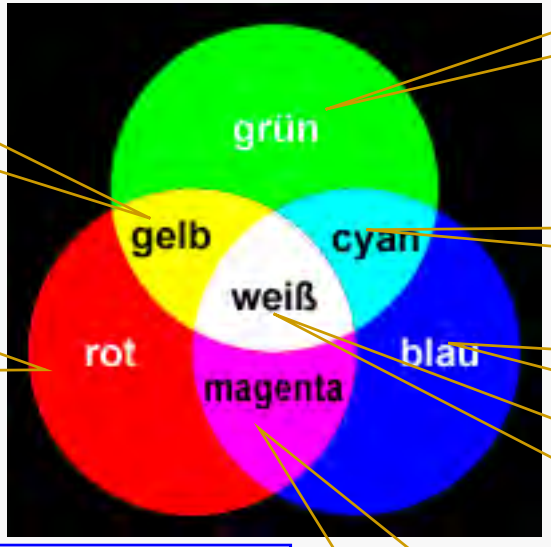
  Programmeinstellungen mit Bit-Charakter (Ein / Aus) werden oft sehr effizient als Einzel-Bit-Werte eines ganzzahligen Datentyps (**`unsigned int`**, **`int`**, **`char`**,...) codiert – ein Beispiel:

```
#define IRGENDWO   0 /*Werte fuer uTell:      */
#define HIER       1 /*auch: 1<<0 (2er Potenz)*/
#define JETZT      2 /*  "   1<<1      "      */
#define IRGENDWANN 0 /*entbehrlich*/
void WannUndWo (char uTell)
{ if (uTell &  HIER) printf("Hier ");
  else               printf("Irgendwo ");
  if (uTell & JETZT) printf("u. jetzt!\n");
  else               printf("u. irgendwann!\n");
}
int main()
{ WannUndWo(HIER|JETZT);   /*Ausgabe:"Hier u. jetzt!"     */
  WannUndWo(HIER|IRGENDWO);/*Ausgabe:"Hier u. irgendwann!"*/
 _getch(); }
```

```
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
```

OpenGL: A Drawing Survival Kit

Farben unter OpenGL (additive Farbmischung):




```
glColor3f(0.,1.,0.);
glColor3f(1.,1.,0.);
glColor3f(0.,1.,1.);
glColor3f(1.,0.,0.);
glColor3f(0.,0.,1.);
glColor3f(1.,1.,1.);
glColor3f(1.,0.,1.);
```

```
glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);/*red     */
glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);/*green   */
glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);/*yellow  */
glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);/*blue    */
glColor3f(1.0, 0.0, 1.0);/*magenta*/
glColor3f(0.0, 1.0, 1.0);/*cyan    */
glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);/*white   */
```

Bild:http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:AdditiveFarbmischung.png

- Erzwingung der Ausführung eingegebener Anweisungen:

  Hintergrund: Manche Spezial-Hw (z.B. Netzwerk) sammelt oft mehrere Anweisungen, bevor sie sie verarbeitet.

  Erzwingung der Ausführung („Weiter mit nächstem Bild!“):

```
void glFlush(void);/*erzwingt AusfuehrgsStart*/
```

  Erzwingung der Fertigstellung („Warte auf Pixelbild!“):

```
void glFinish(void);/*wartetAusfuehrgsEnde ab*/
```

- OpenGL-intern werden schließlich alle Grafik-Objekte (Punkte, Linien und Polygone) als geordnete Menge von Eckpunkten beschrieben, immer in (4D-)homogenen Koordinaten, ggf. mit z=0;w=1. Polygone müssen konvex, geschlossen und eben sein (sonst Ergebnis unbestimmt).

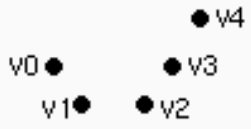
  Code-Struktur zur Konstruktion geometrischer Figuren:

  {...}: eins daraus
  [...]:kann fehlen

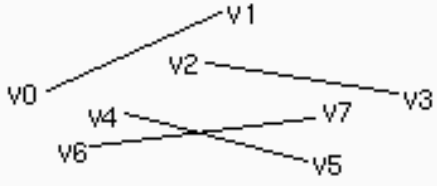
```
void glBegin(GLenum mode);
  void glVertex{234}{sifd}[v](TYPE [*]coords);
void glEnd(void);
```

  OpenGL **TYPE** Definition (s.o.)

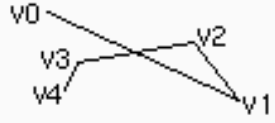
Werte für **`mode`** in **`glBegin(GLenum mode);`**



GL_POINTS



GL_LINES

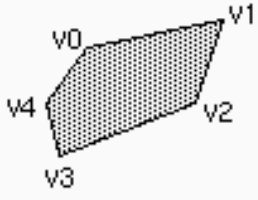


GL_LINE_STRIP

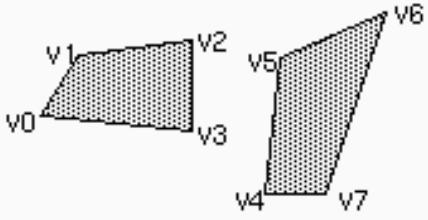
GL_LINE_LOOP

Beispiel:

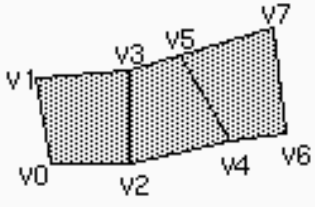
```
glBegin(GL_LINES);
  glVertex2f(0.,0.);
  glVertex2f(0.,3.);
glEnd();//(z=0; w=1)
```



GL_POLYGON

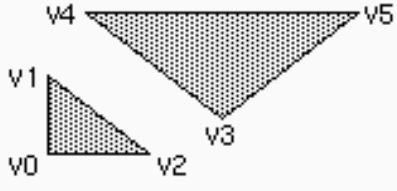


GL_QUADS

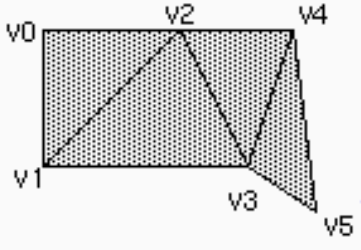


GL_QUAD_STRIP

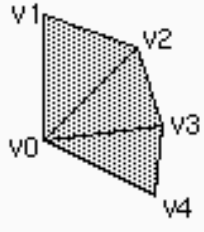
Nur wenige Befehle zwischen **`glBegin()`** u. **`glEnd()`** wirksam, **`glVertex2f*()`** nur dort!



GL_TRIANGLES



GL_TRIANGLE_STRIP



GL_TRIANGLE_FAN

Bild: OpenGL Programming Guide (Addison-Wesley Publishing Company) First Printing, 1993

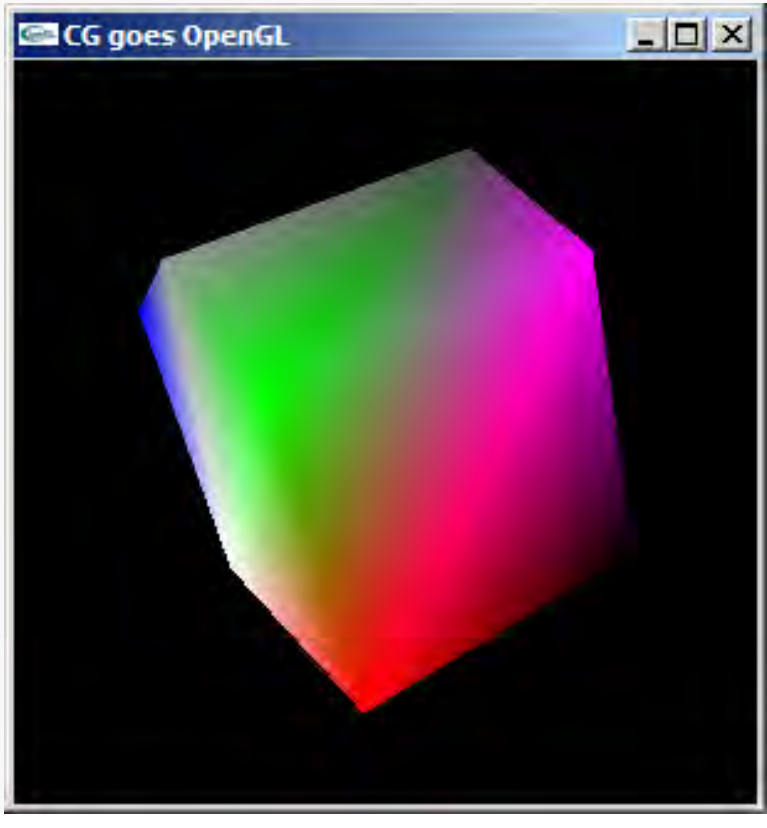
OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

Valid Commands between **`glBegin()`** and **`glEnd()`** (OpenGL 1.1):

Command	Purpose of Command
`glVertex*()`	set vertex coordinates
`glColor*()`	set current RGBA color
`glIndex*()`	set current color index
`glNormal*()`	set normal vector coordinates
`glTexCoord*()`	set texture coordinates
`glEdgeFlag*()`	control drawing of edges
`glMaterial*()`	set material properties
`glArrayElement()`	extract vertex array data
`glEvalCoord*()`, `glEvalPoint*()`	generate coordinates
`glCallList()`, `glCallLists()`	execute display list(s)

Übung:

In einem GLUT-Fenster sollen mit OpenGL geladene 3D-Modelle dargestellt werden mit den Funktionalitäten, die im Bedienungsmenü vorgesehen sind.



`ObjElabGL.exe`

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

- Einstellbare Punkt- und Strichstärken (in Pixeln):

```
void glPointSize(GLfloat size); /*(def.: 1.0)*/
void glLineWidth(GLfloat width);/*(def.: 1.0)*/
```

  Nachkomma-Stellen bei Anti-Aliasing („anti-éiliæsing“):

```
glEnable (GL_POINT_SMOOTH); bzw.
glEnable (GL_LINE_SMOOTH);
```

  Dazu notwendig: Farbmischung und Mischungsfunktion:

```
glEnable   (GL_BLEND);
glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA,GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);
```

  source factor

  destination factor

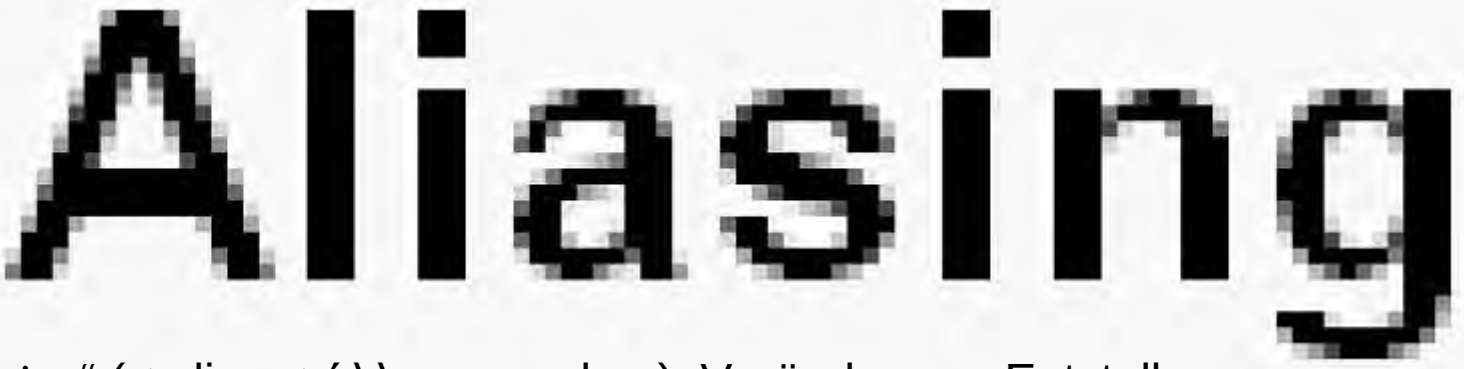
- Musterung/Strichelung von Linien nach Bitmustern (mit Berücksichtigung der Übergänge innerhalb eines **glBegin/glEnd**-Paars – Bits nach steigender Wertigkeit ausgewertet)

```
glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
void glLineStipple(GLint factor,GLushort pattern);
/* z.B.: glLineStipple(2, 0x3F07); */
```

Aliasing und Antialiasing

Ohne Anti-**Aliasing** (*)

Mit Anti-**Aliasing**



(*) „éiliæsing“ (< alias < άλλως = anders): Veränderung, Entstellung

Beispiel: Strichmuster-Verarbeitung d. **`pattern`**-Parameters in

```
glLineStipple(2, 0x3F07); //(factor, pattern);
```

Muster-Darstellung binär: $\mathbf{3F07_{16} = 0011\ 1111\ 0000\ 0111_2}$

Abarbeitung der 16 Bit einzeln **-**gestreckt durch **factor-**

von rechts ⬅ nach links:

(2x3=) 6 Pixel setzen / (2x5=) 10 Pixel auslassen /
(2x6=) 12 Pixel setzen / (2x2=) 4 Pixel auslassen

Weitere Beispiele:

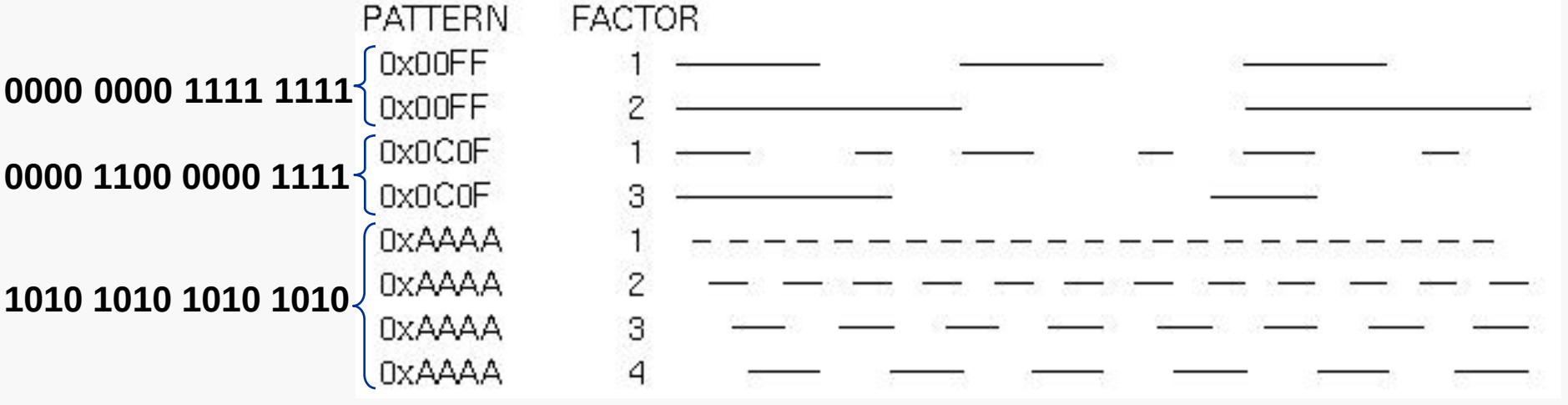


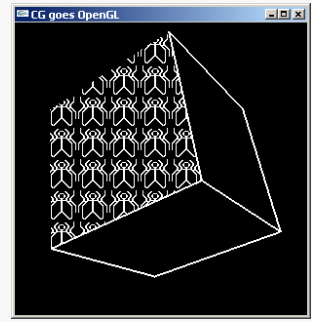
Bild: OpenGL Programming Guide (Addison-Wesley Publishing Company) First Printing, 1993

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

- Zeichenmodi für Polygone:
  `void glPolygonMode(GLenum face, GLenum mode);`
  Zulässige Werte für **`face`** :
  `GL_FRONT_AND_BACK` (default), **`GL_FRONT`**, **`GL_BACK`**
  Zulässige Werte für **`mode`**:
  `GL_POINT`, **`GL_LINE`**, oder **`GL_FILL`** (default).
- Eliminierung von Objektflächen („Blick in die Schachtel“):
  `void glCullFace(GLenum mode);`
  Zulässige Werte für **`mode`**:
  `GL_FRONT`, **`GL_BACK`** (default), **`GL_FRONT_AND_BACK`**
  wirksam zwischen: `glEnable (GL_CULL_FACE);`
  und: `glDisable(GL_CULL_FACE);`
- Drehsinn sichtbarer Flächen (default: „counterclockwise“):
  `void glFrontFace(GLenum mode);`
  Zulässige Werte für **`mode`**: **`GL_CCW`**, **`GL_CW`**

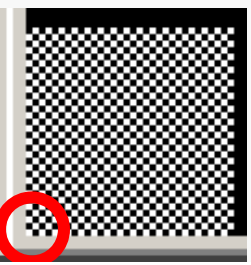
OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

- Alternativ zur Einfarbigkeit (=default): Polygon-Musterung
  zwischen: **`glEnable (GL_POLYGON_STIPPLE);`**
  und: **`glDisable(GL_POLYGON_STIPPLE);`**
  bei: **`glPolygonMode(face, GL_FILL);`**`//default`
  `void` **`glPolygonStipple(`**`const` **`GLubyte *mask);`**
  setzt das aktuelle 32x32-Bit-Füllmuster, das **am Fenster links unten aligniert** bleibt: 0 steht für „Pixel auslassen“, 1 für „Pixel setzen“ (v.links ➡ n.rechts, v.unten ⬆ n.oben).



Beispiel: Definition einer Halbton-Maske [$\mathbf{A_{16}=1010_2}$; $\mathbf{5_{16}=0101_2}$]

```
GLubyte halftone[] =
{ 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
  0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
  /* (...ueber mehrere Zeilen...) */
  0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
  0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55 };
```



CubeElabFly.exe, CubeElabHalftone.exe

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

- (Flächen-)Normalen werden in OpenGL/CG aufgefaßt als nach außen (zur Modell-Umgebung) gerichtete, im voraus berechnete Vektoren, die senkrecht zum „Gesamtverlauf“ der Modell-Oberfläche an deren Eckpunkten stehen; sie sind somit nicht immer mathematisch exakt definiert.
- Normalen werden ausschließlich Eckpunkten zugeordnet; dabei kann ein Eckpunkt für jede Fläche, zu der er gehört, eine andere Normale bekommen. Setzen der aktuellen Normalen (def.: $[\mathbf{0,0,1}]^T$ – vor jedem **`glVertex*()`**-Aufruf möglich):

  OpenGL **TYPE** Definition (s.o.)

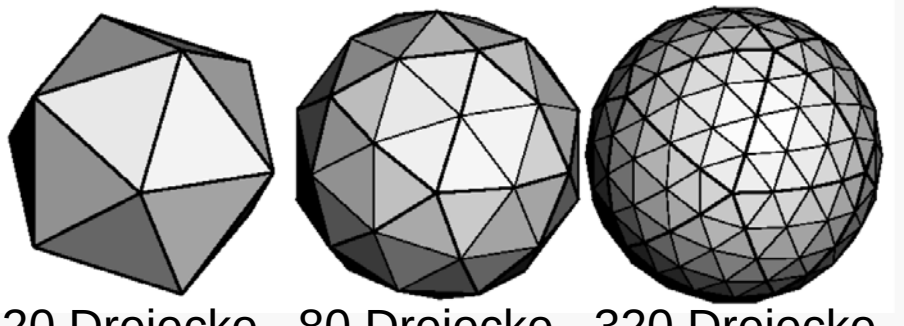
  ```
  void glNormal3{bsidf}(TYPE nx,TYPE ny,TYPE nz);
  void glNormal3{bsidf}v (const TYPE *v);//vector
  ```

  (Die ganzzahligen Versionen **`b`**, **`s`**, **`i`** skalieren intern die Wertebereiche linear auf das Intervall [-1.0,1.0])

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

Beispiele:

```
/*Zeichnet Dreiecke auf der Projektionsebene:*/
void SingleTri(float *v1,float *v2,float *v3)
{ glBegin(GL_TRIANGLES);/*Normale aus Voreinst.*/
    glNormal3f(0.,0.,1.);
    glVertex3fv(v1);
    glVertex3fv(v2);
    glVertex3fv(v3);
  glEnd();
}
```



20 Dreiecke 80 Dreiecke 320 Dreiecke

```
/*Zeichnet approx. Kugel um Koord.-Ursprung:*/
void SphereTri(float *v1,float *v2,float *v3)
{ glBegin(GL_TRIANGLES);   /*Ortsvektor=Normale*/
    glNormal3fv(v1); glVertex3fv(v1);
    glNormal3fv(v2); glVertex3fv(v2);
    glNormal3fv(v3); glVertex3fv(v3);
  glEnd();
}
```

oberes Bild: OpenGL Programming Guide (Addison-Wesley Publishing Company) First Printing, 1993

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

- Beleuchtungseffekte verwenden normierte Normalen:

  $\underline{n} = [\, n_x, n_y, n_z, 0 \,]^T \bullet 1/(n_x^2+n_y^2+n_z^2)^{½}$ (⇨ $|\underline{n}| = 1$)
- Normalen bleiben nach Rotation und Translation normiert; Automatismus für Scherung u.ungleichmäßige Skalierung

  `glEnable(GL_NORMALIZE);`

  bei gleichmäßiger (Gesamt-)Skalierung ändert sich nur der Betrag (Länge) – etwas schnellere Nachskalierung:

  `glEnable(GL_RESCALE_NORMAL);`
- OpenGL-Vers. 1.1 ff.: Daten-Felder (Arrays): Einsparung v. Rechenzeit durch Zusammenfassung v. Koordinaten-, Farb-, Textur- u.a. Daten: Weniger Aufrufe (z.B. **`glVertex*()`**) Nutzung von Synergien (z.B. mehrere Flächen teilen sich einen Eckpunkt oder eine Normale).

  (Vertex Arrays ⇨ eher programmiertechnisch interessant)

OpenGL: Punkte, Linien, Polygone

1.087.716 Dreiecke

Technisch-gestalterische Tips bei Modellierung:

- Einheitlichen Drehsinn für alle Modellflächen einhalten!
- Ebene, konvexe (besser: triangulierte) Polyg. verwenden!
- Bei d. Modelldesign-Entscheidung zwischen facettenreich (langsam) und grob (schnell) sollte die zentrale oder seitliche Lage im Sichtvolumen, die Entfernung vom Augenpunkt, die Vielfalt (Unebenheiten, Buntheit) und der aktuell sichtbare Teil des Originals berücksichtigt werden. Bei Animation sollten Modelle in mehreren Auflösungen (*Levels of Detail*, LODs) verfügbar sein.
- Rechner-Ungenauigkeit einplanen!

3.774 Dreiecke