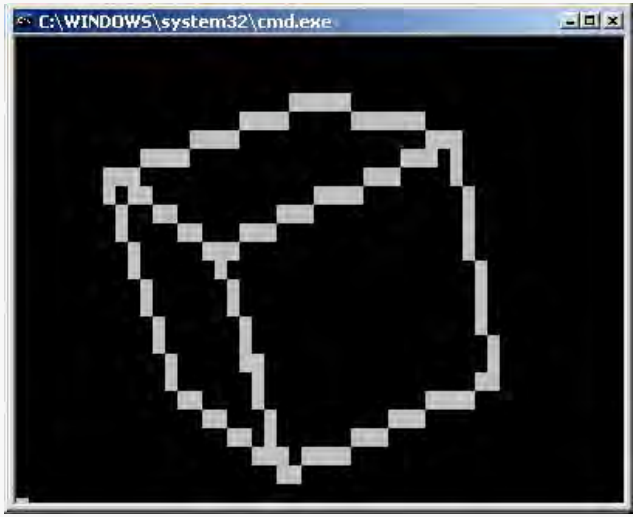
3D-Sicht, Projektionen

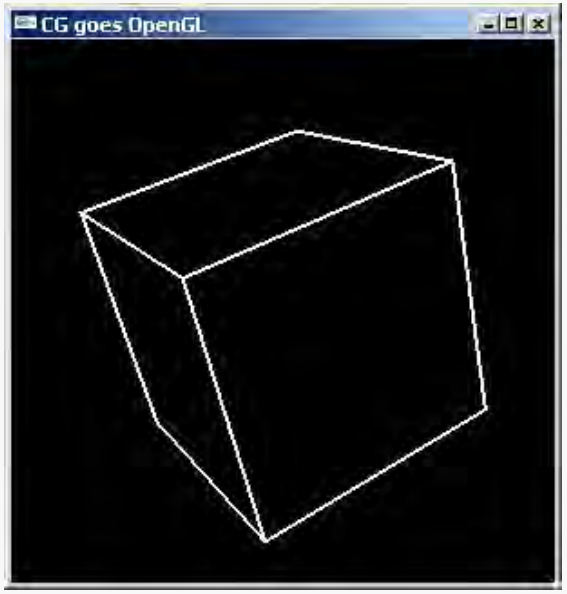


Typische Struktur eines Grafik-Programms, das erst in einem „verborgenen“ Speicher zeichnet, den es nach Fertigstellung der Grafik sichtbar macht (Double Buffering):

```
void draw (void)
{/*Hintergrund-Puffer loeschen:*/
  conClrBuff();
 /*Erstellung der Grafik (im Hintergrund):*/
  conDrawCGFobj(&obj,eyez);
 /*Hintergrund-Puffer sichtbar machen:*/
  conSwapBuff();
  return;
}
```

OpenGL

Typische Struktur eines Grafik-Programms, das nach aktuellem Industrie-Standard mit Double Buffering zeichnet:



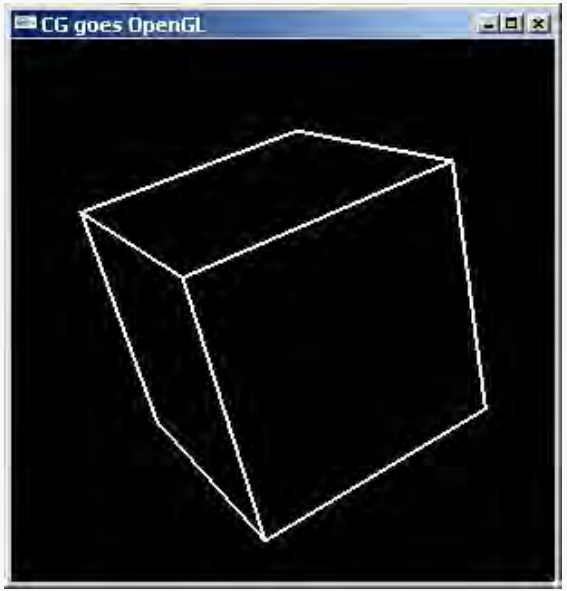

```
void draw (void)
{/*Hintergrund-Puffer loeschen:*/
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
 /*Erstellung der Grafik (im Hintergrund):*/
  drawBox();
 /*Hintergrund-Puffer sichtbar machen:*/
  glutSwapBuffers();
  return;
}
```

CubeGL.exe

OpenGL


```
/*CubeGL.c:*/

int main(int argc, char **argv)
{ glutInit(&argc, argv);
  glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE);
  glutCreateWindow("CG goes OpenGL");
  glutDisplayFunc(draw);
  glutKeyboardFunc(key);
  init();
  glutMainLoop();
  return 0;
}
```



```
/*CubeGL.c (Forts.):*/

void drawBox(void)
{ int jF;
  nah=eyez; fern=nah+2*diag;

  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity();

  if (persp) /*Perspektive:*/
   glFrustum (-diag, diag, -diag, diag, nah, fern);
  else       /*Parallel-Projektion:*/
   glOrtho   (-diag, diag, -diag, diag, nah, fern);

  if (backF) glEnable  (GL_CULL_FACE);
  else       glDisable (GL_CULL_FACE);
```

```
float eyez=10.,
      diag=3.464f;
int   backF=0, persp=1;
GLdouble nah=10.,
      fern=10.+2*3.464f;
```

```
  /*CubeGL.c (Forts.):*/
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW); /*Animationshistorie:*/
  glPushMatrix();/*Aktuelle Modell-Position merken*/
  /*Ins Sichtvolumen verschieben u. positionieren:*/
  glTranslatef(0.0, 0.0, -(nah+diag/2));
  glRotatef(angle[X], 1.0, 0.0, 0.0);
  glRotatef(angle[Y], 0.0, 1.0, 0.0);
  glRotatef(angle[Z], 0.0, 0.0, 1.0);
  /*Wuerfel zeichnen:*/
  for (jF = 0; jF < 6; jF++)
  { glBegin(GL_POLYGON);
    glVertex3fv(Vrtx[faces[jF][0]]);//=(&Vrtx[faces[jF][0]][0]);
    glVertex3fv(Vrtx[faces[jF][1]]);//          ...
    glVertex3fv(Vrtx[faces[jF][2]]);//          ...
    glVertex3fv(Vrtx[faces[jF][3]]);//          ...
    glEnd();
  } glPopMatrix(); /*Letzte Berechnungen vergessen*/
}
```

```
float     angle[3];
GLfloat Vrtx[8][3];
GLint  faces[6][4];
```

OpenGL

„Open Graphics Library“ (OpenGL: ® Silicon Graphics Inc.)
www.opengl.org – Aktuelle Version: 4.5 (2017)
1982-92: IRIS GL (für SGI-Rechner) Seit 1992 frei verfügbar
Definitionsgremium: OpenGL ARB (Architecture Review Board
– seit 2006 als Teil der „Khronos Group“)

The Red Book – Version 1.1 (1997):
www.glprogramming.com/red (On-Line, HTML)

Code-Beispiele aus dem „Red Book“: www.opengl-redbook.com
The OpenGL Wiki: www.opengl.org/wiki
Deutschsprachige „OpenGL-Community“: www.delphigl.com
„Öffentlich“ ist bei OpenGL nur die Spezifikation!
Open-Source Implementierung der OpenGL-Spezifikation:
The Mesa 3D Graphics Library
www.mesa3d.org – Aktuelle Version: 17.0 (2017)

GLUT

OpenGL ist unabhängig von Fenstersystemen; dies erfordert für Grafik-Sw die Adoption

- entweder eines ‚nativen' Fenstersystems oder
- einer Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API) zur Anbindung an Fenstersysteme.

Eine solche Programmierschnittstelle ist GLUT (*OpenGL Utility Toolkit* - Aussprache „wie *glutttony*").

Aktuelle Version: 3.7 (3.7.6)

Literatur:

- M.J.Kilgard: „OpenGL Programming for the X Window System", Addison-Wesley 1996
- E.Angel: „Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach Using OpenGL", Addison-Wesley 2006

GLUT

HTML-Online-Dokumentation zu GLUT:

- Links zu Quellen und Dokumentation:
  www.opengl.org/resources/libraries/glut

- Benutzungshandbuch:
  www.opengl.org/documentation/specs/glut/spec3/spec3.html
  www.opengl.org/resources/libraries/glut/spec3/spec3.html
  www.opengl.org/resources/libraries/glut/glut-3.spec.pdf – bzw.:
  http://homepages.thm.de/christ/>Computergrafik>aktuell

- Quellen u. Dokumentation für MS-Windows zu GLUT:
  www.xmission.com/~nate/glut.html

Funktionalität durch GLUT:

- Einrichtung und Handhabung mehrerer Grafik-Fenster
- Ereignisverarbeitung durch Callbacks *(event processing)*
- Unterstützung vielfältiger Eingabegeräte
- Routinen zur Einhaltung von Zeitvorgaben *(timer)*
- Nutzung “ereignisloser” *("idle”)* Zeitintervalle
- Erzeugung von Pop-Up-Menü-Kaskaden
- Unterprogramme zur Generierung geometrischer Körper
- Mehrere Bitmap-/ Vektor-Schriftarten *(raster/ stroke fonts)*
- Diverse Funktionen zur Fenster- und Overlayverwaltung

Ereignisse

- Definition: Als **Ereignis** *(engl. event)* bezeichnen wir jedes Vorkommnis *(occurence)*, das eine nicht-sequentielle Bearbeitung eines Programms bewirkt.

  Ein solches Vorkommnis kann eine Zustandsänderung oder die Erfüllung einer Bedingung (`x == y`) sein, was die Abarbeitung einer `if`-Abfrage im Programm bewirkt.

- **Synchrone** Ereignisse treten zu vorhersagbaren Zeitpunkten, **asynchrone** zu nicht-vorhersagbaren ein.

  Synchrone Ereignisse sind z.B. `if`-Abfragen im prozedur-orientierten Programm: sie treten vorhersagbar ein (z.B.: ... Zeilen ab Programmbeginn).

  Asynchrone Ereignisse sind z.B. Tasten- o. Maus-Aktionen (Zeit/Situation nicht-vorhersagbar: „Abbrechen“ vs. „OK“).

d.h.: Programm-stelle!

- Ereignisgesteuerte Arbeitsweise bedient sich asynchroner Ereignisse.

Callback

- Zentraler Begriff bei Sw-Plattformen (ebenso: Sw-Umgebungen)

  Callback [-Funktion]: Funktion des Anwendungsprogramms, die in vorgegebenen Situationen von der Plattform aufgerufen wird.

Hintergrund:

- Multitasking ⇔ Teilen von Ressourcen (I/O, Rechenzeit etc.)
- Koordination nur durch Plattform möglich (dort Information über laufende Prozesse und Ressourcen-Bedarf)

  ⇨ Maßnahmen nach Wiederzuweisung von Ressourcen sind nur durch die Plattform einzuleiten – aber:
- Code nur als Bestandteil der Applikation sinnvoll (nur dort ist Wissen über Umgang mit Ressourcen vorhanden)

  ⇨ Einrichtung einer Plattform-Routine zur Aufnahme eines Zeigers auf eine (Callback-) Funktion, mit der die Applikation der Plattform mitteilt, welche Funktion aufzurufen ist.

  („Callback“ = Rückruf – eigentlich: Aufruf der Callback-Funktion)

GLUT

- bietet ein (fast) komplettes API für d. native Fenstersystem
  - ➥ Sw-Entwicklung ohne Einarbeitung in Fenstersystem
- überläßt Fenster-Einrichtung dem nativen Fenstersystem
  - ➥ Erhaltung des plattformeigenen Look & Feel
- wird (wurde) regelmäßig aktualisiert
  - ➥ Befolgung von Trends, Beseitigung von Bugs
- ist kostenlos erhältlich inkl. Source-Code
  - ➥ Verwendbarkeit in Ausbildung
  - ➥ Anpassung an individuelle Sw-Entwicklung möglich

Design-Philosophie:

- Fenster-Einrichtung u. -Verwaltung mit wenigen Aufrufen (für Ein-Fenster-Applikationen genügt Callback +Start) :

  ➥ Schnelle Erlernbarkeit, Augenmerk auf Fenster-Inhalt

- Aufrufe mit möglichst knappen Parameterlisten, Zeiger nur für (Eingabe von) Zeichenketten, keine Zeiger-Rückgabe durch GLUT:

  ➥ Leichte Handhabung, Fehlerrobustheit

- Keine Verwendung v. Daten des nativen Fenstersystems (Fenster-Handler, Schriftarten):

  ➥ Unabhängigkeit vom nativen Fenstersystem

"Handler": Behandlungsroutine

Design-Philosophie: (Forts.)

- Übernahme der Ereignisverarbeitung, Überlassung von OpenGL-Displaylisten der Applikation:

  ➥ Einschränkung gleichzeitiger Verwendung weiterer Ereignis-verarbeitung, keine Einschränkung des OpenGL-Einsatzes

- Zustandshaftes *(stateful)* API:

  Zustand: Datensatz mit d. Beschreibung des Systems für die Bedürfnisse der Anwendung

  ➥ Einfache Applikationen durch Voreinstellungen *(default/ current window/ menu);* wiederholter Datentransfer (interessant z.B. bei unsicheren Verbindungen) wird vermieden

  Echtzeit ! (*real time*)

- Mehrere, differenziert aufgerufene Callbacks

  ➥ Vermeidung unnötigen Codes je nach Art der Applikation

- Logische Organisation in 10 ‚Sub-APIs‘: ⇨

GLUT - Unterschnittstellen

1. Initialisierung:

- Initialisierung des Fenstersystems,
- Überprüfung der **`main()`**-Parameter,
- Setzen der Voreinstellungen für Fenster-Position, Größe, Darstellungsmodus (Single/ Double Buffer)
- 4 Routinen:


```
void glutInit(int *argc, char **argv);
                                    /*Parameter aus main()*/
void glutInitWindowSize(int width, int height);
                                        /*def.: (300,300)*/
void glutInitWindowPosition(int x, int y);
  /*def.: (-1,-1): dem nativen Fenstersystem ueberlassen*/
void glutInitDisplayMode(unsigned int mode);
                            /*def.: (GLUT_RGB | GLUT_SINGLE)*/
```

GLUT - Unterschnittstellen

2. Start der Ereignisverarbeitung:

- Letzte Anweisung (meist in **`main()`**) vor Überlassung der Programmsteuerung an GLUT und den dort registrierten Callbacks der Anwendung – keine Rückkehr!
- 1 Routine:

```
void glutMainLoop(void);
```

3. Fenster-Verwaltung:

- Fenster-Generierung und -Steuerung
- 18 Routinen:

```
int glutCreateWindow(char *name);/*intVar<=Fenst.einrichten*/
int glutCreateSubWindow(int win,int x,int y,int wid,int hig);
void glutSetWindow(int win);/*Setzen:win=>aktuelles Fenster*/
int glutGetWindow(void);  /*Abfragen:int<=aktuelles Fenster*/
```

GLUT - Unterschnittstellen

3. Fenster-Verwaltung (Forts.):

```
                        /*meist: "execution upon return to GLUT"*/
void glutDestroyWindow(int win);
void glutPostRedisplay(void);   /*Kennzeichnung: aktualisieren!*/
void glutSwapBuffers(void);
void glutPositionWindow(int x, int y);
void glutReshapeWindow(int width, int height);
void glutFullScreen(void);          /*may vary by window system*/
void glutPopWindow(void);         /*Aendert Fenster-Reihenfolge*/
void glutPushWindow(void);        /*     "     "          "     */
void glutShowWindow(void);             /*macht Fenster sichtbar*/
void glutHideWindow(void);           /*macht Fenster unsichtbar*/
void glutIconifyWindow(void);
void glutSetWindowTitle(char *name);
void glutSetIconTitle(char *name);
void glutSetCursor(int cursor);/*23 cursor images GLUT_CURSOR..*/
```

(Test7.exe)

GLUT - Unterschnittstellen

4. Overlay-Verwaltung:

- Einrichtung u. Nutzung von Overlay-Hw (falls vorhanden)
- 6 Routinen:

```
void glutEstablishOverlay(void);
void glutUseLayer(GLenum layer);
void glutRemoveOverlay(void);
void glutPostOverlayRedisplay(void);
void glutShowOverlay(void);
void glutHideOverlay(void);
```

5. Menü-Verwaltung:

- Menü-Generierung und -Steuerung
- 11 Routinen:

```
int  glutCreateMenu(void (*func)(int value));/*Callback-Reg.*/
void glutSetMenu(int menu);
int  glutGetMenu(void);
void glutDestroyMenu(int menu);
void glutAddMenuEntry(char *name, int value);
   /*Eintrag und an glutCreateMenu-Callback uebergebener Wert*/
void glutAddSubMenu(char *name, int menu);
void glutChangeToMenuEntry(int entry, char *name, int value);
void glutChangeToSubMenu(int entry, char *name, int menu);
void glutRemoveMenuItem(int entry);
void glutAttachMenu(int button);          /*Maustaste~Menue*/
void glutDetachMenu(int button);
```

(Glutmech.exe)

6. Callback-Registrierung:

- Anmeldung von Applikationsfunktionen (Callbacks).
- Callback-Aufruf durch die Verarbeitungsschleife der GLUT- Ereignisse *(GLUT event processing loop)*.
- Drei Callback-Typen:
  - Fenster-Callbacks – zur Änderung von Größe, Form, Sichtbarkeit von Fenstern bzw. zur Anzeige des fertiggestellten Fensterinhalts
  - Menü-Callbacks – zur Menü-Darstellung
  - Globale Callbacks – für die Einbeziehung von Zeitabläufen und Menü-Nutzung.
- insg. 20 Routinen:

GLUT - Unterschnittstellen

6. Callback-Registrierung (Forts.):

- **Fenster-Callbacks:**

```
void glutDisplayFunc(void(*func)(void)); /*CB f.aktuelles Fenster*/

void glutOverlayDisplayFunc(void (*func)(void));

void glutReshapeFunc(void (*func)(int width, int height));

void glutKeyboardFunc(void(*func)(unsigned char key,int x,int y));

void glutMouseFunc(void(*func)(int button,int state,int x, int y));

void glutMotionFunc(void(*func)(int x,int y));   /*button pressed*/

void glutPassiveMotionFunc(void(*func)(int x,int y));  /*no press*/

void glutVisibilityFunc(void (*func)(int state));
                /* state == GLUT_NOT_VISIBLE oder GLUT_VISIBLE  */

void glutEntryFunc(void (*func)(int state));   /*Maus im Fenster?*/
                        /* state == GLUT_LEFT oder GLUT_ENTERED */
```

6. Callback-Registrierung (Forts.):

- Fenster-Callbacks (Forts.):

```
void glutSpecialFunc(void (*func)(int key, int x, int y));
     /* key == Funktions-, Cursor- (Pfeil-) und Spezialtasten */

void glutSpaceballMotionFunc(void (*func)(int x, int y, int z));

void glutSpaceballRotateFunc(void (*func)(int x, int y, int z));

void glutSpaceballButtonFunc(void (*func)(int button, int state));

void glutButtonBoxFunc(void (*func)(int button, int state));

void glutDialsFunc(void (*func)(int dial, int value));

void glutTabletMotionFunc(void (*func)(int x, int y));

void glutTabletButtonFunc(void (*func)(int button, int state,
   int x, int y));
```

GLUT - Unterschnittstellen

6. Callback-Registrierung (Forts.):

- **Menü-Callbacks:**

```
void glutMenuStatusFunc(void(*func)(int status,int x,int y));
   [auch: void glutMenuStateFunc(void (*func)(int status));]
   /* status == GLUT_MENU_IN_USE oder GLUT_MENU_NOT_IN_USE */
```

- **Globale Callbacks:**

```
void glutIdleFunc(void (*func)(void));  /*wenn kein Ereignis*/

void glutTimerFunc(unsigned int msecs,(*func)(int val),val);
            /*msecs Millisekunden spaeter: Aufruf func(val)*/
```

GLUT - Unterschnittstellen

7. Verwaltung von Farbtabellen mit Farbindex

(*Color Index Colormap Management)* – 3 Routinen:

```
void glutSetColor(int cell, GLfloat red, GLfloat green,
                            GLfloat blue);      /*LUT-Eintrag*/
GLfloat glutGetColor(int cell, int component);
void glutCopyColormap(int win);
```

8. Zustands-Abfrage *(State Retrieval)* – 5 Routinen:

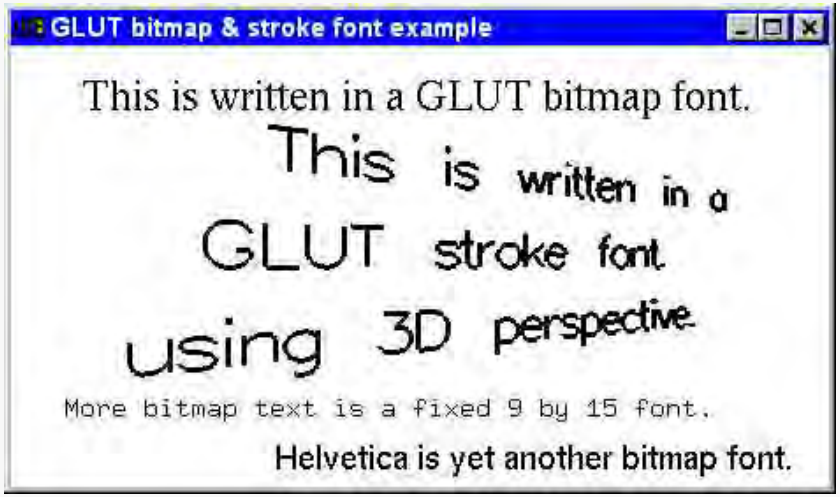
```
int glutGet(GLenum state);
    /* state: 1 v.35 Zustandskennungen, z.B.GLUT_WINDOW_X */
int glutLayerGet(GLenum info);          /* Overlay-Nutzung */
int glutDeviceGet(GLenum info);
                /* info: 1 von 10 GLUT_HAS_... (Maus etc.) */
int glutGetModifiers(void);
                  /* GLUT_ACTIVE_SHIFT, ..._CTRL, ..._ALT */
int glutExtensionSupported(char *extension);/*OpenGL-Extens.*/
```

9. Wiedergabe von Bitmap- und Vektor-Schriftarten

(Font Rendering) – 9 Routinen:

```
void glutBitmapCharacter(void *font, int character);
```

font aus: **GLUT_BITMAP_8_BY_13**
GLUT_BITMAP_9_BY_15
GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_10
GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_24
GLUT_BITMAP_HELVETICA_10
GLUT_BITMAP_HELVETICA_12
GLUT_BITMAP_HELVETICA_18




```
int glutBitmapWidth(GLUTbitmapFont font, int character)
                    /*gibt Breite der Bitmap-Schrift in Pixel*/
void glutStrokeCharacter(void *font, int character);
```

font aus: **GLUT_STROKE_ROMAN**
GLUT_STROKE_MONO_ROMAN

```
int glutStrokeWidth(GLUTstrokeFont font, int character);
```

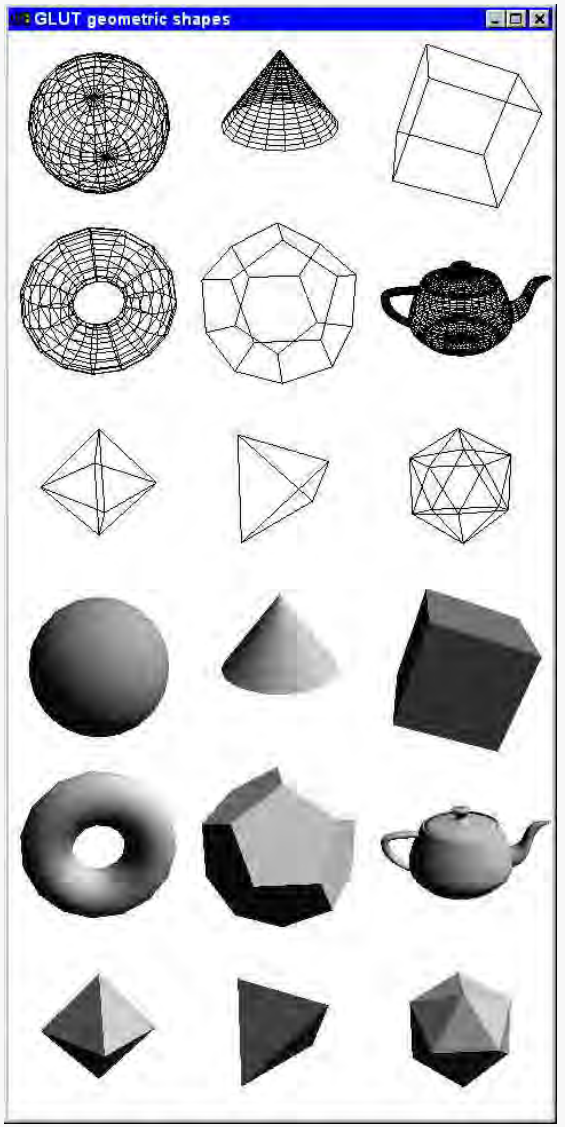
(s.u.)

GLUT - Unterschnittstellen

10. Wiedergabe Geometrischer Figuren

(Geometric Shape Rendering)–18 Routinen:

`glutSolidSphere,`	`glutWireSphere`
`glutSolidCube,`	`glutWireCube`
`glutSolidCone,`	`glutWireCone`
`glutSolidTorus,`	`glutWireTorus`
`glutSolidDodecahedron,`	`glutWireDodecahedron`
`glutSolidOctahedron,`	`glutWireOctahedron`
`glutSolidTetrahedron,`	`glutWireTetrahedron`
`glutSolidIcosahedron,`	`glutWireIcosahedron`
`glutSolidTeapot,`	`glutWireTeapot`



GLUT

Anmerkungen zu GLUT:

- GLUT-Koordinaten (Bildschirm, Fenster) in Pixel; Ursprung oben links (wie d. meisten Fenstersysteme ⇔ OpenGL: math. Koord.).
- Fenster-, Menü- u. Menüpunkt-Kennungen beginnen mit 1.
- GLUT-Header enthält OpenGL- u. GLU-Header:
  `#include <GL/glut.h>`
- **`glutInit`** soll zur Hauptinitialisierung genau einmal, möglichst am Programm-Anfang aufgerufen werden. Nur Aufrufe mit **`glutInit`**–Präfix dürfen davor stehen (Setzen v. Voreinstellgn)
- OpenGL-Einstellgn (**`gl*`**-Aufrufe) nach **`glutInit*()`**!
- GLUT übernimmt u.a.:
  - die Festlegung des Zeitpunktes für Fenster-Aktionen (Darstellung, Aktualisierung etc. immer erst nach Rückgabe der Kontrolle an die Ereignisverarbeitung von GLUT)
  - die Behandlung mehrerer verwandter Aufrufe (z.B. nach mehrmaligem **`glutPostRedisplay`** oder sich gegenseitig aufhebenden Fenster-Aktivierungen).

GLUT

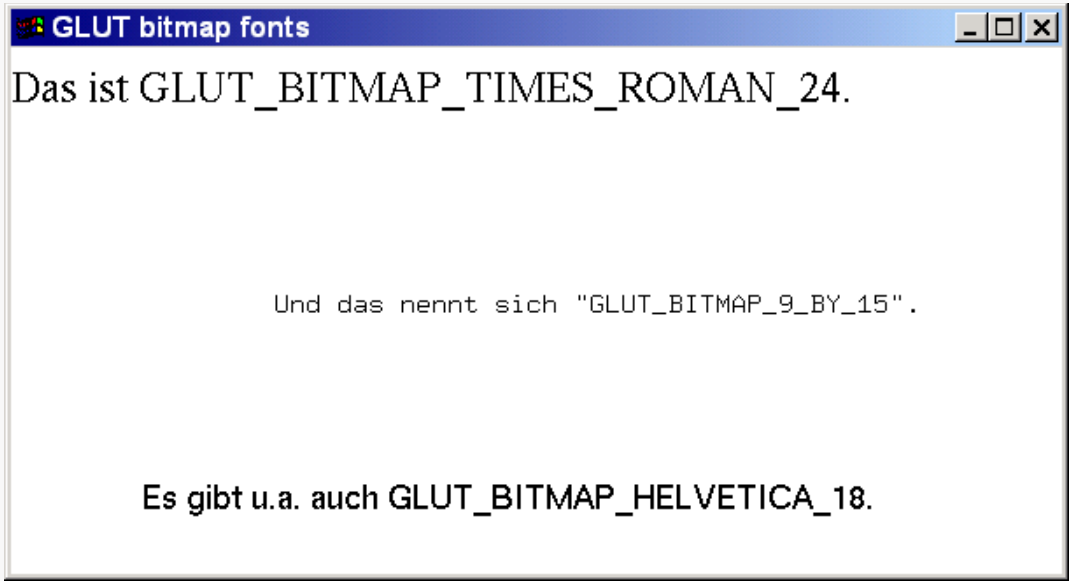
Neben GLUT-Unterschnittstellen: OpenGL-Aufrufe, z.B.:

- Aktuelle Rasterposition an (x, y) setzen (def.: **-1.≤ x,y ≤ +1.**):
  `void` **`glRasterPos2{sifd}(`**`TYPE` **`x,`** `TYPE` **`y);`**
  Untere linke Fenster-Ecke bei (**-1.;-1.**)
- Vor Fortsetzung vorausgegangene Aufrufe ausführen:
  `void glFlush(void);` `/*(vgl. fflush)*/`
- Fenster löschen:
  `void glClear(GLbitfield mask);`
  Für **`mask`** hier immer: **`GL_COLOR_BUFFER_BIT`**
- Zeichenfarbe wählen (GLUT-Def.: **(1.,1.,1.)**):
  ```
  void glColor3f(GLfloat red, GLfloat green,
                 GLfloat blue);
  ```
- Lösch-/Hintergrundfarbe wählen (GLUT-Def.: **(0.,0.,0.,1.)**):
  ```
  void glClearColor(GLclampf red, GLclampf green,
                    GLclampf blue, GLclampf alpha);
  ```
  Farbkomponenten werden intern auf den Bereich [0,1] begrenzt („clamped“).

GLUT

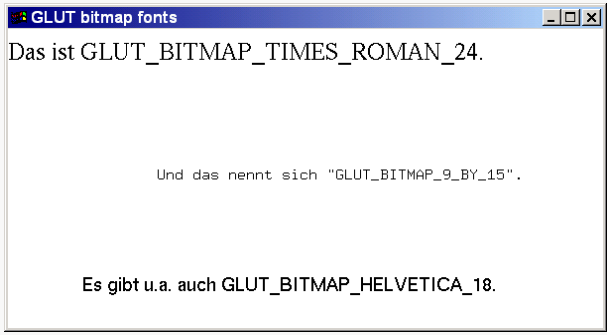
Beispiel: Text-Ausgabe mit GLUT:

```
int main(int argc, char **argv)
{
  glutInit(&argc, argv);
  glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
  glutInitWindowSize(600, 300);
  glutCreateWindow("GLUT bitmap fonts");
  glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
  glColor3f(0., 0., 0.);
  glutDisplayFunc(display);
  glutMainLoop();
  return 0;
}
```



Beispiel: Text-Ausgabe mit GLUT (Forts.)

```
#include <GL/glut.h>
void bmpOut(GLfloat x, GLfloat y, void *font, char *string)
{ int len, i;
  glRasterPos2f(x, y);
  len = (int) strlen(string);
  for (i = 0; i < len; i++)
    glutBitmapCharacter(font, string[i]);
}
void display(void)
{ glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
  bmpOut(-1.f, 0.8f, GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_24,
         "Das ist GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_24.");
  bmpOut(-0.5f, 0.0f, GLUT_BITMAP_9_BY_15,
     "Und das nennt sich \"GLUT_BITMAP_9_BY_15\".");
  bmpOut(-0.75f, -0.75f, GLUT_BITMAP_HELVETICA_18,
     "Es gibt u.a. auch GLUT_BITMAP_HELVETICA_18.");
  glFlush();
}
```



GLUTbmpFont.exe